



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMATICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

HOJA ELECTRÓNICA PARA EL DISEÑO BIAXIAL DE COLUMNAS  
RECTANGULARES CON ESTRIBOS

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
OPCIÓN ESTRUCTURAS

AUTOR:

MARCATOMA TAMAY JUAN ALFONSO

TUTOR: ING.MARCO AYABACA CAZAR

QUITO-ECUADOR

2013

## **DEDICATORIA**

A mis padres, especialmente a mi madrecita ROSARIO TAMAY, que supo guiarme en este proceso, por la paciencia que siempre tuvo para conmigo, a todos mis hermanos por haberme brindado su apoyo incondicional, gracias a ellos que me han guiado hasta llegar a cumplir unas de mis metas que me he propuesto en mi vida.

**Juan Marcatoma.**

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo fue posible realizar gracias al apoyo de mi familia que me ha brindado su apoyo incondicional en todas las circunstancias que se han presentado en el transcurso de este largo camino de mi vida estudiantil, a las personas que considero mis amigos que han estado presentes, y que gracias a su ayuda forman parte muy importante en la culminación del presente trabajo.

Y un agradecimiento muy especial a la Gloriosa Universidad Central del Ecuador, en la cual día a día en sus aulas me forme tanto como persona y académicamente a través de mis profesores, quienes me supieron transmitir todos sus conocimientos y de esta forma me han preparado para un futuro competitivo.

## **AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL**

Yo, MARCATOMA TAMAY JUAN ALFONSO en calidad de autor del trabajo de investigación o tesis realizada sobre HOJA ELECTRONICA PARA EL DISEÑO BIAXIAL DE COLUMNAS RECTANGULARES CON ESTRIBOS, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o del parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás de la ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 30 de Octubre del 2013



Juan Alfonso Marcatoma Tamay

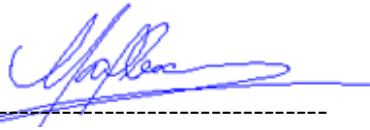
C.C. 1717713372

## **CERTIFICACIÓN**

En calidad de Tutor del proyecto de Investigación: HOJA ELECTRONICA PARA EL DISEÑO BIAXIAL DE COLUMNAS RECTANGULARES CON ESTRIBOS, presentado y desarrollado por el señor: MARCATOMA TAMAY JUAN ALFONSO, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, considero que el proyecto reúne los requisitos necesarios.

En la ciudad de Quito, a los 30 días del mes de Octubre del año 2013

Firma -----



Marco Antonio Ayabaca Cazar

## **INFORME SOBRE CULMINACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

### **"HOJA ELECTRÓNICA PARA EL DISEÑO BIAxIAL DE COLUMNAS RECTÁNGULARES CON ESTRIBOS"**

TUTOR: Ing. MARCO ANTONIO AYABACA CAZAR

FECHA: 30 DE OCTUBRE DE 2013

---

#### **1.- Antecedentes:**

- Mediante Of. No. FI-DCIC-2012-614 del 16 de octubre de 2012, el Sr. Director de la Carrera de Ingeniería Civil solicita el informe sobre el temario del Trabajo de Graduación "HOJA ELECTRÓNICA PARA EL DISEÑO BIAxIAL DE COLUMNAS RECTÁNGULARES CON ESTRIBOS", presentado el Sr MARCATOMA TAMAY JUAN ALFONSO.
- El 24 de octubre de 2012, y en base a los informes favorables de los señores profesores ingenieros Ángel Aguirre y Marco Garzón, mediante Of. No. FI-DCIC-2012-646 se me designa Tutor para este Trabajo de Graduación.


#### **2.- Desarrollo de la Tesis:**

- El Sr Marcatoma procede con la recopilación de la bibliografía existente sobre el tema, adicionalmente se inscribe en un curso para Macros para Excel.
- Se desarrollan los algoritmos para el cálculo de los diagramas de interacción uniaxiales y biaxiales para columnas rectangulares con estribos, de conformidad con la normas NEC -11 y ACI 2008-2011, así como también se desarrollan los algoritmos para el diseño biaxial (interpolación lineal entre dos diagramas de interacción).
- Se realiza la programación en la hoja electrónica, utilizando macros
- Se realizan las comprobaciones de los diseños obtenidos con los procedimientos conocidos (Ecuación de la Carga Recíproca de Bresler).

#### **3.- Conclusiones:**

- Los diseños realizados con esta hoja electrónica son totalmente aceptables y reducen significativamente el tiempo utilizado en estas actividades cuando se utilizan los procedimientos manuales y aproximados.

Atentamente,

  
Ing. Marco A. Ayabaca Cazar  
Profesor Principal, Tutor



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DIRECCIÓN**

**Oficio FI-DCIC-2013-627**  
**Quito DM., 19 julio de 2013**

Ingenieros  
**MARCO GARZÓN**  
**ÁNGEL AGUIRRE**  
**PROFESORES, PLAN TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
Presente

REF.: Calificación trabajo de Grado

Cordial saludo:

En cumplimiento a las disposiciones vigentes, remito a usted el formulario "RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN", previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, presentado por el señor:

**MARCATOMA TAMAY ALFONSO**

que versa sobre: "HOJA ELECTRÓNICA PARA EL DISEÑO BIAXIAL DE COLUMNAS RECTANGULARES CON ESTRIBOS ", a fin de que en el plazo de **OCHO DIAS**, (contados desde la fecha de la entrega de la memoria), se sirvan entregar en Secretaría General de la Facultad, el formulario con la nota promedio.

Atentamente,

**Ing. Jorge HURTADO B.**  
**DIRECTOR, CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Anexo: Formulario  
Jorge Hurtado



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICA  
SECRETARÍA

RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

CARRERA DE Ingeniería Civil

Quito, 30 de octubre de 2013

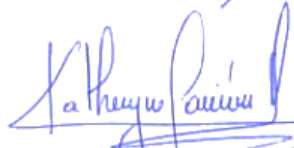
Señor MARCATOMA TAHAY ALFONSO

Tema: "HOJA ELECTRÓNICA PARA EL DISEÑO BIAXIAL DE COLUMNAS

RECTANGULARES CON ESTRIBOS"

CALIFICACIÓN:

TRIBUNAL	PROFESOR (A)	NOTA SOBRE VEINTE		FIRMA
		NUMERO	LETRAS	
PROFESOR TITULAR	ANGEL AGUIRRE	18	DIECIOCHO	Angel Aguirre
PROFESOR TITULAR	MARCO GARZON	18	DIECIOCHO	Marco Garzon
PROMEDIO		18	DIECIOCHO	José María

  
Dra. Katheryne Carrión Valdivieso  
SECRETARIA ABOGADA (E)





## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL.....	iv
CERTIFICACIÓN .....	v
CONTENIDO .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPITULO I .....	1
1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 HIPÓTESIS BÁSICAS .....	2
1.3 DISEÑO DE COLUMNAS SOMETIDOS A FLEXOCOMPRESION BIAxIAL .....	3
1.4 DIAGRAMAS DE INTERACCION.....	4
CAPITULO II. ....	6
2.1 DISPOSICIONES PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO. ....	6
2.1.1 DISPOCIONES DEL ACI 318S-11 .....	6
2.1.2 DISPOCIONES DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION (NEC-2011) .....	10
2.2 ELEMENTOS DE HORMIGON SOMETIDOS A FLEXOCOMPRESION     UNIAXIAL Y BIAxIAL.....	11
2.2.1 FLEXOCOMPRESION UNIAXIAL.....	11
2.2.2 FLEXOCOMPRESION BIAxIAL.....	13
2.3 SOLICITACIONES UNIAXIAL EQUIVALENTES PARA EFECTOS DE DISEÑO .....	22
2.4 PORCENTAJE DE REFUERZO MINIMO Y MAXIMO PARA COLUMNAS .....	23
2.5 FACTORES DE RESISTENCIA DE DISEÑO. ....	24
2.6 MAXIMA RESISTENCIA A CARGA AXIAL.....	25
CAPITULO III.....	27
3.1 DIAGRAMAS DE INTERACCION CON SOLICITACION UNIAXIAL Y BIAxIAL .....	27

3.2 JUSTIFICACION DE ALGORITMOS PARA GENERAR LOS DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE COLUMNAS CON SOLICITACION BIAXIAL.....	28
3.2.1 DATOS A INGRESAR.....	28
3.2.2 PROCEDIMIENTO: <b>MatPorRefuerzo.</b> .....	29
3.2.3 PROCEDIMINETO: <b>r_Beta.</b> .....	29
3.2.4 PROCEDIMIENTO: <b>Corte.</b> .....	29
3.2.5 PROCEDIMIENTO: <b>Calculo Puntos</b> .....	33
3.2.6 PROCEDIMIENTO: <b>Puntos Notables</b> .....	38
3.2.7 PROCEDIMIENTO: <b>Carga Máxima de Diseño.</b> .....	40
3.2.8 PROCEDIMIENTO: <b>Almacenamiento de Resultados.</b> .....	41
3.2.9 PROCEDIMIENTO <b>Grafico.</b> .....	41
3.2.10 DIAGRAMA DE FLUJO .....	42
3.3 CODIFICACION DEL PROGRAMA PARA GENERAR LOS DIAGRAMAS DE INTERACCION DE COLUMNAS CON SOLICITACION BIAXIAL.....	60
CAPITULO IV .....	92
4.1.- DISEÑO Y COMPROBACION DEL DISEÑO CON EL PROGRAMA DESARROLLADO.....	92
4.2.- DISEÑO DE COLUMNAS MEDIANTE EL USO DE ABACOS .....	101
4.2.1 COMPROBACION DEL DISEÑO MANUAL.....	103
4.3.- COMPARACION DE RESULTADOS .....	109
CAPITULO V .....	110
5.1.- MANUAL PARA EL USO DEL PROGRAMA.....	110
5.1.1.- PANTALLA PRINCIPAL.....	110
5.1.2.- DISEÑO.....	110
5.1.3.- COMPROBACION DEL DISEÑO. ....	112
5.1.4.- DIAGRAMA DE INTERACCION. ....	114
5.1.5.- DISEÑO SOBREDIMENSIONADO. ....	115
5.1.5.1. PANTALLA PRINCIPAL.....	115
5.1.5.2. DISEÑO. ....	115
5.1.5.3. COMPROBACION DEL DISEÑO. ....	116

5.1.5.4. DIAGRAMA DE INTERACCION. ....	117
5.1.6.- DISEÑO SUBDIMENSIONADO.....	118
5.1.6.1 PANTALLA PRINCIPAL.....	118
5.1.6.2. DISEÑO. ....	118
5.1.6.3. DIAGRAMA DE INTERACCION. ....	120
5.2.- NOMENCLATURA.....	120
5.3.- RESTRICCIONES.....	123
CAPITULO VI.....	124
6.1.- CONCLUSIONES.....	124
6.2.- RECOMENDACIONES.....	124
GLOSARIO.....	125
BIBLIOGRAFIA.....	126

## LISTA DE FIGURAS

.....	1
Figura 1-Momentos flexionantes en un nudo .....	1
Figura 2-Superficies de falla para columnas sometidas a flexocompresion biaxial .....	3
Figura 3- Curva de rotura en un diagrama unidireccional .....	5
Figura 4 - 5 Diagramas a tres planos y Diagramas diferentes cuantías respectivamente.....	5
Figura 6- Secciones planas antes y después de la flexión .....	6
Figura 7-Variación de la deformación específica .....	7
Figura 8-Relación tensión-deformación para la armadura.....	8
Figura 9- Distribución rectangular equivalente de las tensiones en el hormigón (ACI).....	9
Figura 10- Valores de $\beta_1$ en función de la resistencia del concreto.....	10
Figura 11- Columna sometida a flexo-compresión uniaxial .....	12
Figura 12- Diagrama de interacción (columna con estribos cerrados).....	13
Figura 13- Columna sometida a flexo-compresión biaxial .....	13

Figura 14-Superficies de falla .....	14
Figura 15- Simbología utilizada para carga biaxial .....	14
Figura 16- Método de las cargas recíprocas.....	15
.....	17
Figura 17- Contornos de las cargas de Bresler para $P_n$ constante en la superficie de falla S3	17
Figura 18- Curvas de interacción del Contorno de Cargas de Bresler de la Ecuación (2) .....	18
Figura 19(a)- Contorno de cargas de la superficie de falla S3 sobre un plano de $P_n$ constante .....	19
Figura 19(b)- Contornos de cargas adimensional para $P_n$ constante .....	19
Figura 19(c)- Superficie de falla S4.....	20
Figura 20- Relación de resistencia momento biaxial y uniaxial .....	20
Figura 21- Constantes para el diseño biaxial- Disposiciones con 12 o mas barras.....	21
Figura 22- Aproximación bilineal de un contorno de carga adimensional. Figura 19(b) .....	21
Figura 23.- Estado de sollicitación uniaxial equivalente.....	23
Figura 24.- Representación gráfica de los valores de $\phi$ (ACI 318-11) .....	25
Figura 25.- Resistencia de diseño .....	26
Figura 26- Superficie de interacción biaxial .....	28
Figura 27.- Corte paralelo a la recta que se forma con el ángulo de inclinación. ....	30
Figura 28.- Coordenadas de cada varilla.....	30
Figura 29.- Distancia efectiva desde la cara más comprimida al centroide de cada varilla....	32
Figura 30.- Diagrama de fuerzas resultantes.....	34
Figura 31.- Área equivalente de hormigón comprimido de un polígono cualquiera .....	34
Figura 32.- Brazo de palanca del AEHC.....	36
.....	37
Figura 33.- Factor de reducción de resistencia $\Phi$ .....	37
Figura 34.-Diagrama de interacción para diferentes % de refuerzo.....	38
Figura 35.-Diagrama de fuerzas resultantes para determinar $P_o$ .....	39
Figura 36.-Puntos notables del diagrama de interacción .....	40
Figura 37.-Puntos notables del diagrama de interacción .....	41

Abaco N° 10- ACI-71 .....	102
Abaco N° 10- ACI-71 .....	105
Abaco N° 9 - ACI-71 .....	107
Abaco N° 10- ACI-71 .....	107

## **RESUMEN**

**HOJA ELECTRONICA PARA EL DISEÑO BIAXIAL DE COLUMNAS RECTANGULARES CON ESTRIBOS.**

El objetivo del presente trabajo está orientado a generar los lineamientos para llegar a obtener un programa que facilite el diseño de columnas, para lo cual se tiene que seguir una secuencia de pasos tales como: desarrollo, justificación y codificación; mediante la utilización del SISTEMA OPERATIVO MICROSOFT WINDOWS 7; EXCEL CON MACROS DEL OFFICE 2007. Este puede ser aplicado para tener un diagnóstico rápido acerca del diseño de columnas. Estas pueden ser rectangulares o cuadradas con armadura simétrica en las cuatro o dos caras según sea la necesidad y reforzadas con estribos. De igual forma el programa puede ser utilizado para realizar el diseño y comprobación de las columnas en términos de efectividad.

### **DESCRIPTORES:**

**COLUMNAS DE HORMIGÓN ARMADO / NEC-2011 / CÓDIGO ACI318S-11 / COLUMNAS RECTANGULARES DE HORMIGÓN CON SOLICITACIÓN BIAXIAL / COLUMNAS CUADRADAS DE HORMIGÓN CON SOLICITACIÓN BIAXIAL / DISEÑO DE COLUMNAS RECTANGULARES DE HORMIGÓN CON SOLICITACIÓN BIAXIAL / DISEÑO DE COLUMNAS CUADRADAS DE HORMIGÓN CON SOLICITACIÓN BIAXIAL / PROGRAMA PARA DISEÑO DE COLUMNAS CON SOLICITACION BIAXIAL.**

## **ABSTRACT**

**SPREADSHEET FOR THE DESIGN OF BIAXIAL RECTANGULAR COLUMNS WITH STIRRUPS.**

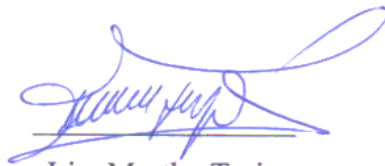
The objective of this work is oriented to generate the guidelines to arrive at a program to facilitate the design of columns, for which we have to follow a sequence of steps such as development, justification, and coding by using the MICROSOFT OPERATING SYSTEM WINDOW 7; EXCEL MACRO WITH OFFICE 2007. This software can be applied to have a quick diagnosis which can allow us a more accurate design of columns. These columns might be rectangular or square, set in symmetrical way for all or two of their sides, as needed, and reinforced with stirrup. In the same way, the program can be used to make the columns design and verification in terms of effectiveness.

## **WORDS:**

CONCRETE COLUMNS / NEC-2011 / CODE ACI318S-11 / RECTANGULAR  
CONCRETE COLUMNS WITH SOLICITATION BIAXIAL / SQUARE  
CONCRETE COLUMNS WITH SOLICITATION BIAXIAL / DESIGN OF  
RECTANGULAR CONCRETE COLUMNS WITH SOLICITATION BIAXIAL /  
DESIGN OF SQUARE CONCRETE COLUMNS WITH SOLICITATION  
BIAXIAL / PROGRAM DESIGN OF COLUMNS WITH SOLICITATION  
BIAXIAL.

## **CERTIFICADO**

Yo, Martha Cecilia Trejo Ordóñez, con C.I. número 1703197184, profesora en el Instituto Tecnológico Superior “Los Shyris”, graduada con Título de Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Ingles, en la Universidad Central del Ecuador, avalo la veracidad y exactitud de la traducción del resumen del trabajo de titulación del Sr. Juan Alfonso Marcatoma Tamay.



Lic. Martha Trejo

C.I 1703197184





REPÚBLICA DEL ECUADOR  
LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR,

FACULTAD DE FILOSOFIA, LETRAS Y CIENCIAS DE LA EDUCACION

Confiere el Grado de

*Licenciada en Ciencias de la Educación*

*Mención: Inglés*

*Martha Cecilia Trejo Ordóñez*

de nacionalidad *Ecuatoriana*, con identificación N° *110319118-4*  
por haber culminado los estudios y cumplido las disposiciones legales y reglamenta-  
rias pertinentes.

Quito, *28 de Julio del 2.003*



EL DECANO

*Msc. Guillermo Pérez*

EL SECRETARIO ABOGADO

*Dr. Gonzalo Barba Vela*

EL SECRETARIO GENERAL

*Dr. Augusto Durán Ponce*

Secretario General

Refrendado en el Libro de Grados, Folio *16* Fecha *2003-11-24*

EL RECTOR

*Ing. Victor H. Olalla Proaño*

RECTOR

Registrado en O.U.D.E. Folio *206* N° *5176* fecha *2003-11-24*

Jefe de OUDE

*Juan Carlos Bermúdez*

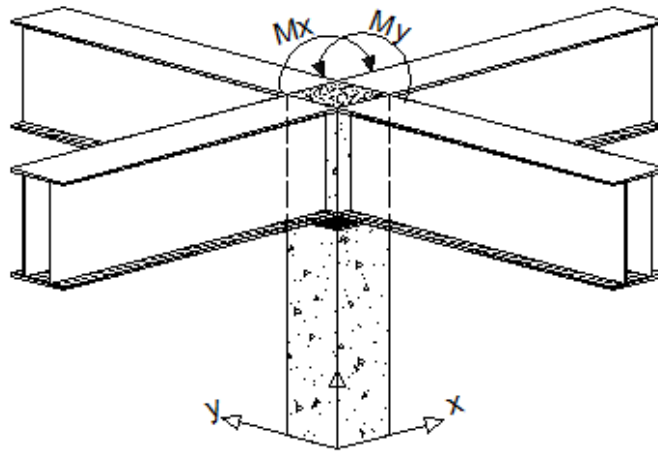


## CAPITULO I

### 1.1 INTRODUCCION.

Las columnas son elementos estructurales generalmente verticales que se encargan de transmitir las cargas de una edificación hacia la superficie de apoyo, utilizando a las zapatas como estructuras intermedias de soporte.

Las columnas de hormigón armado son elementos que trabajan a esfuerzos de compresión, sin embargo al mismo tiempo se presentan momentos flexionantes debido a los giros que se producen en los nudos (unión viga-columna) de una estructura determinada.



*Figura 1-Momentos flexionantes en un nudo*

El acero es un material que se caracteriza por su buena ductilidad y sus altas resistencias, tanto a la compresión como a la tracción. Las armaduras de acero se incorporan a la masa de hormigón para soportar fundamentalmente esfuerzos de tracción. El mecanismo de funcionamiento de un elemento estructural de hormigón armado se basa en la transmisión de las tensiones de tracción del hormigón a las barras de acero. Para ello debe existir adherencia entre ambos materiales, sin la existencia de ésta, el hormigón no podría transmitir ningún tipo de esfuerzo al acero y su presencia sería inútil. La mayor parte de la adherencia tiene origen mecánico o de rozamiento, éste último aspecto (adherencia) se debe a la superficie irregular del acero.

En este trabajo se muestra el procedimiento para llegar a determinar los diagramas de interacción de secciones de hormigón armado sometidas a flexocompresión basado en el código ACI 318S-11 del American Concrete Institute de los Estados Unidos y la

Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2011). El empleo de los diagramas resulta de utilidad para el dimensionamiento de columnas de hormigón armado u otros elementos estructurales, utilizados tanto en el ámbito académico como profesional. Para el efecto se elige una de las secciones más frecuentes utilizadas en el campo profesional, las secciones rectangulares con armadura simétrica, aunque las mismas bases de diseño sirven para la resolución de otros casos de forma de sección o de disposición de la armadura.

La mayor parte de los elementos estructurales sometidos a compresión también están solicitados por momentos flectores, por lo que en su diseño debe tomarse en consideración la presencia simultánea de los dos tipos de acciones carga axial y momento flector en una o dos direcciones.

En zonas sísmicas, como las existentes en nuestro país, el efecto flexionante usualmente domina el diseño con relación a las solicitaciones axiales por lo que, a pesar de que los momentos por cargas gravitacionales sean importantes, se suelen escoger columnas con armadura simétrica, dada la reversibilidad de los sismos.

## **1.2 HIPÓTESIS BÁSICAS**

Para determinar la resistencia de un elemento sometido a carga axial y momento flector mediante el Método de Diseño por resistencia, el código ACI 318S-11, exige que se satisfagan dos condiciones básicas:

- a) Equilibrio Estático
- b) Compatibilidad de las Deformaciones

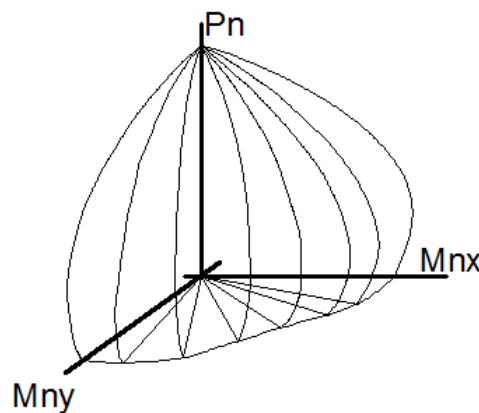
La primera condición exige que las fuerzas de compresión y tracción que actúan en la sección transversal para la resistencia "última" estén en equilibrio, mientras que la segunda condición exige que también se satisfaga la compatibilidad entre las deformaciones del hormigón y de la armadura bajo condiciones "últimas" dentro de las hipótesis de diseño permitidas por el código (ver 10.2 del ACI 318S-11).

El término "último" es muy utilizado en relación con el Método de Diseño por Resistencia. Pero es necesario tener en cuenta que la resistencia "nominal" calculada de acuerdo con los requisitos del código puede no necesariamente ser el valor último real. Dentro de las hipótesis de diseño permitidas, se desprecian algunas de las propiedades de los materiales y se establecen otros límites conservadores para utilizar en el diseño práctico. Esto contribuye a la posibilidad de que la "resistencia última" sea menor que la obtenida mediante ensayos. La resistencia nominal calculada se debería considerar exclusivamente como una resistencia definida por el código. En consecuencia, al definir la resistencia calculada de un elemento no se utiliza el término "último," sino que se usa el término "nominal."

### 1.3 DISEÑO DE COLUMNAS SOMETIDOS A FLEXOCOMPRESION BIAxIAL

Las columnas al formar estructuras espaciales presentan simultáneamente cargas axiales y momentos flectores en dos direcciones ortogonales, dando lugar a la flexocompresion biaxial.

De manera similar a la flexocompresion uniaxial, es posible determinar diagramas de interacción para distintas orientaciones del momento flector resultante, los que integrados en un diagrama tridimensional conforman superficies de interacción como la que se presenta en la siguiente figura:



*Figura 2-Superficies de falla para columnas sometidas a flexocompresion biaxial*

Es indudable que las curvas de interacción respecto de los ejes principales (x, y) pueden ser determinadas con relativa facilidad, pero las curvas de interacción respecto a ejes ortogonales guardan cierto grado de complejidad. Las investigaciones realizadas con columnas cuadradas, armadas de la manera tradicional (armadura simétrica en las cuatro caras), demuestran que existe una considerable disminución de la capacidad resistente a flexión de tales columnas cuando las solicitaciones se producen aproximadamente a  $45^\circ$  de los ejes principales. Esta disminución puede llegar a ser del orden de un 30% con relación a la flexión sobre los ejes principales, por lo que la utilización de los diagramas de interacción generadas sobre los ejes principales (x,y), para modelar la flexocompresion biaxial, puede conducir a errores importantes.

Con el objeto de mejorar la precisión en el resultado del diseño de columnas sometidas a flexocompresion biaxial, el ACI ha publicado Diagramas de Interacción para Columnas Cuadradas, Uniformemente Armadas en sus Cuatro Caras, con Flexión a  $45^\circ$  Respecto a los Ejes Principales. Estas curvas de interacción a  $45^\circ$ , junto con las Curvas de Interacción Respecto a los Ejes Principales permiten una

interpolación angular bastante más confiable para cualquier ángulo de flexión en columnas cuadradas.

El problema de **diseño** de columnas con flexión biaxial es complejo numéricamente por la gran cantidad de iteraciones que es necesario realizar, recuerde que el eje neutro por lo general no es perpendicular a la excentricidad resultante o paralelo al vector momento resultante. Para el diseño normalmente se suele suponer un cierto arreglo de la armadura de refuerzo y el área de acero supuesta se va corrigiendo, hasta lograr que la capacidad de la columna sea adecuada para soportar las solicitaciones externas.

El **análisis** de columnas con flexión biaxial es un poco más simple que el diseño, ya que se conoce de antemano el arreglo y el área de las armaduras. En este caso es posible describir la resistencia de una sección mediante las llamadas Superficies de Interacción, que representan el lugar geométrico de todas las combinaciones de carga axial ( $P_n$ ) y momentos flectores  $M_{nx}$ ,  $M_{ny}$  que juntos agotan la capacidad de la sección.

## 1.4 DIAGRAMAS DE INTERACCION

En esta parte analizaremos los denominados diagramas de interacción, de uso universal y de gran utilidad para calcular y dimensionar las columnas que están solicitadas por cargas excéntricas (carga axial y momento flector). Estos diagramas toman en consideración específicamente los efectos de la flexocompresion, no se considera los efectos de la fluencia lenta y el pandeo.

En ocasiones estos diagramas son utilizados para el estudio de elementos sometidos a flexión con pequeña y gran excentricidad. En este caso lo incorporamos en el **análisis de columnas** porque en la mayoría de los casos la solicitación predominante en estos elementos es la flexocompresion unidireccional o bidireccional y su cálculo y dimensionamiento se resuelve con los diagramas de interacción.

En un diagrama plano (unidireccional), en el eje de las ordenadas se representan las cargas actuantes y en el eje de las abscisas los momentos. Para una columna de sección y cuantía establecida, la curva de la figura 3 indica los puntos de rotura para todas las interacciones posibles de carga y momento. Esta curva que conformará un diagrama para diferentes cuantías, lo iremos profundizando hasta obtener los criterios suficientes para poder construirlos y usarlos adecuadamente.

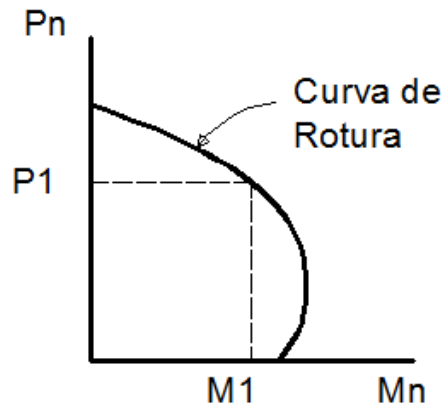


Figura 3- Curva de rotura en un diagrama unidireccional

También podemos construir diagramas a tres planos, es así que se considera a un diagrama como un volumen en el espacio, dado que tenemos tres ejes: carga, momento y cuantía.

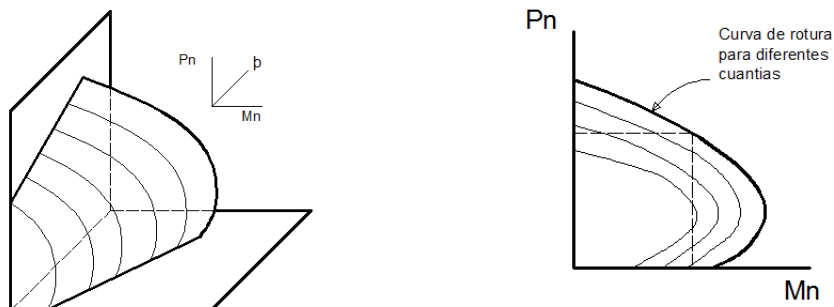


Figura 4 - 5 Diagramas a tres planos y Diagramas diferentes cuantías respectivamente

La superficie de este espacio marca el estado límite de rotura de la columna. Cualquier punto interior corresponde a una situación estable, donde las resistencias internas de la columna son superiores a las acciones externas. Los puntos ubicados en la superficie indican el estado último de equilibrio. Mientras que los puntos ubicados en el exterior representan una situación de rotura.

El diagrama de uso habitual es del tipo plano, con los ejes P y M, pero se le incorpora varias curvas donde cada una de ellas corresponde a una determinada cuantía, de esta manera toma la configuración de la figura 5.

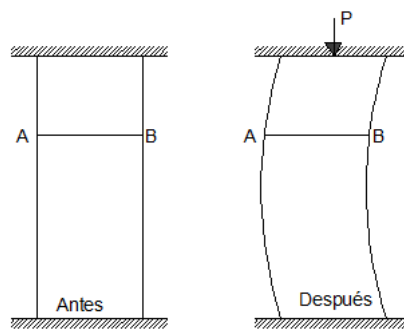
## **CAPITULO II.**

### **2.1 DISPOSICIONES PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO.**

La "resistencia nominal" calculada de un elemento debe satisfacer las hipótesis de diseño dadas en el numeral 10.2 del ACI 318S-11 y los requerimientos que exige la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 (NEC 2011).

#### **2.1.1 DISPOSICIONES DEL ACI 318S-11**

- a) 10.2.2 “**Las deformaciones unitarias en el refuerzo y en el hormigón deben suponerse directamente proporcional al eje neutro**”. Para el cumplimiento de esta teoría es necesario que se cumplan dos requerimientos adicionales: <sup>1</sup>
- Se asume que las secciones planas normales al eje de flexión permanecen planas luego de la flexión, **ver figura 6.**
  - La deformación unitaria en una barra de acero de refuerzo dentro del concreto es la misma que la del concreto circundante, porque se supone que existe una adherencia perfecta entre ambos materiales (concreto y acero), **ver figura 7.**



*Figura 6- Secciones planas antes y después de la flexión*

---

<sup>1</sup> REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-11).

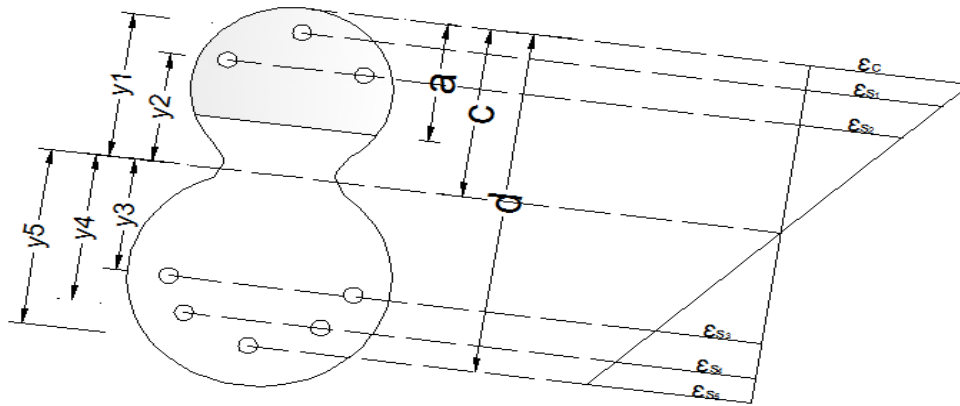


Figura 7-Variación de la deformación específica

**b) 10.2.3 La máxima deformación unitaria utilizable en la fibra extrema sometida a compresión del concreto se supone igual a 0.003.**

**R10.2.3-**La máxima deformación unitaria por compresión en el concreto se ha observado en diversos tipos de ensayos que varía desde 0.003 hasta valores tan altos como 0.008 bajo condiciones especiales. Sin embargo, las deformaciones unitarias a las cuales se desarrolla el momento máximo están normalmente entre 0.003 y 0.004, para elementos de dimensiones y materiales normales.<sup>2</sup>

**c) 10.2.4 El esfuerzo en el refuerzo cuando sea menor que  $f_y$  debe tomarse como  $E_s$  veces la deformación unitaria del acero. Para deformaciones unitarias mayores que las correspondientes a  $f_y$ , el esfuerzo se considera independiente de la deformación unitaria e igual a  $f_y$ .<sup>3</sup>**

**R10.2.4-**Resulta razonable suponer que, para refuerzo corrugado, el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria, para esfuerzos por debajo de la resistencia de fluencia específica  $f_y$ . El aumento en la resistencia debido al efecto de endurecimiento por deformación del refuerzo no se toma en consideración en los cálculos de resistencia, ver figura 8.

<sup>2</sup> REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-11).

<sup>3</sup> REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI318S-11).



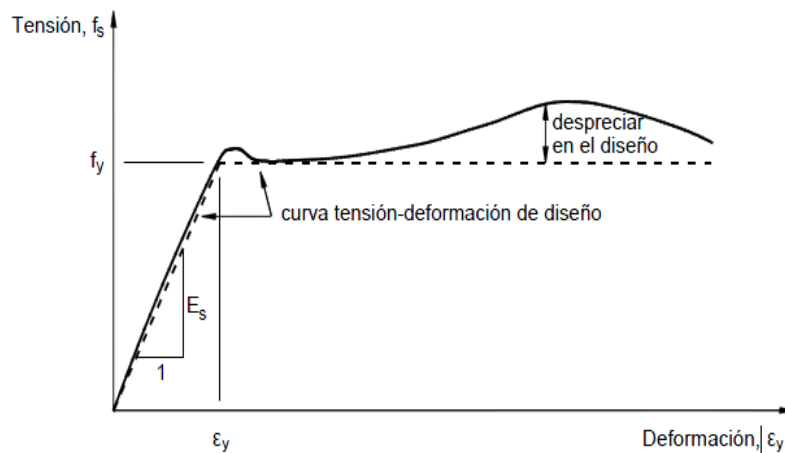


Figura 8-Relación tensión-deformación para la armadura

La fuerza que se desarrolla en el refuerzo sometido a compresión o a tracción se calcula como:

Cuando  $\epsilon_s \leq \epsilon_y$  (deformación de fluencia):

$$f_s = E_s \epsilon_s$$

$$A_s f_y = A_s E_s \epsilon_s$$

Cuando  $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ :

$$f_s = E_s \epsilon_y = f_y$$

$$A_s f_y = A_s f_y$$

**d) 10.2.5 La resistencia a la tracción del concreto no debe considerarse en los cálculos de elementos de concreto reforzado sometidos a flexión y a carga axial, excepto cuando se cumplan los requisitos de 18.4.**<sup>4</sup>

**R10.2.5**-La resistencia a la tracción del concreto sometido a flexión (módulo de ruptura) es una propiedad más variable que la resistencia a la compresión, y es aproximadamente de 10 a 15 por ciento de la resistencia a la compresión. En el diseño por resistencia, la resistencia a la tracción del concreto sometido a flexión no se toma en consideración. Para elementos con cuantías normales de refuerzo, esta suposición concuerda con los ensayos. Por lo general, resulta correcto no tener en cuenta la resistencia a la tracción en condiciones últimas cuando hay un porcentaje muy pequeño de refuerzo.

No obstante, la resistencia del concreto en tracción es importante en las condiciones de agrietamiento y deflexiones a nivel de cargas de servicio.

<sup>4</sup> REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-11).

- e) **10.2.6 La relación entre la distribución de los esfuerzos de compresión en el concreto y la deformación unitaria en el concreto se debe suponer rectangular, trapezoidal, parabólica o de cualquier otra forma que de origen a una predicción de la resistencia que coincida con los resultados de ensayos representativos.**<sup>5</sup>

**R10.2.6-**Esta suposición reconoce la distribución inelástica de esfuerzos del concreto bajo esfuerzos altos. Conforme se va alcanzando el esfuerzo máximo, la relación esfuerzo deformación del concreto no sigue una línea recta sino que toma la forma de una curva (el esfuerzo no es proporcional a la deformación unitaria). La forma general de la curva esfuerzo-deformación es básicamente una función de la resistencia del concreto, y consiste en una curva que aumenta de cero hasta un máximo para una deformación unitaria por compresión entre 0.0015 y 0.002, seguida por una curva descendente con una deformación unitaria última (aplastamiento del concreto) que va desde 0.003 hasta más de 0.008. Tal como se discute en 10.2.3, el Reglamento establece la deformación unitaria máxima utilizable para el diseño en 0.003.

La distribución real del esfuerzo por compresión del concreto en cualquier caso práctico es compleja y, por lo general, no se conoce explícitamente. Sin embargo, las investigaciones han demostrado que las propiedades importantes de la distribución de esfuerzos en el concreto pueden aproximarse adecuadamente si se emplea cualquiera de las diferentes suposiciones propuestas para la forma de la distribución de los esfuerzos. El Reglamento permite que se suponga en el diseño cualquier distribución particular de esfuerzos, si se demuestra que las predicciones de la resistencia última están razonablemente de acuerdo con los resultados de ensayos. Se han propuesto muchas distribuciones de esfuerzos; las tres más comunes son: parabólica, trapezoidal y rectangular.

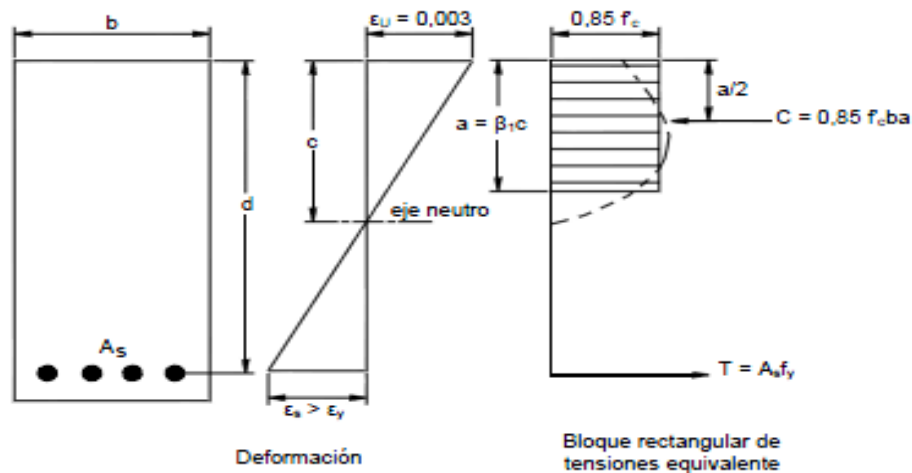


Figura 9- Distribución rectangular equivalente de las tensiones en el hormigón (ACI)

<sup>5</sup> REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-11).

- f) 10.2.7 Los requisitos del 10.2.6 se satisfacen con una distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto.<sup>6</sup>

**R10.2.7-** Para el diseño, el Reglamento permite el uso de una distribución rectangular de esfuerzos de compresión (bloque de esfuerzos) como reemplazo de distribuciones de esfuerzos más exactas, **ver figura 9**. En el bloque rectangular equivalente de esfuerzos, se utiliza un esfuerzo promedio de  $0.85f'_c$  con un rectángulo de altura  $\alpha = \beta_1 * c$ . se ha determinado experimentalmente un valor de  $\beta_1$  igual a 0.85 para concreto con  $f'_c \leq 28$  MPa y menor en 0.005 por cada 7 MPa de  $f'_c$  sobre 28 MPa, **ver figura 10**; se adoptó un límite inferior de  $\beta_1$  igual a 0.65 para resistencias del concreto mayores de 55 MPa.

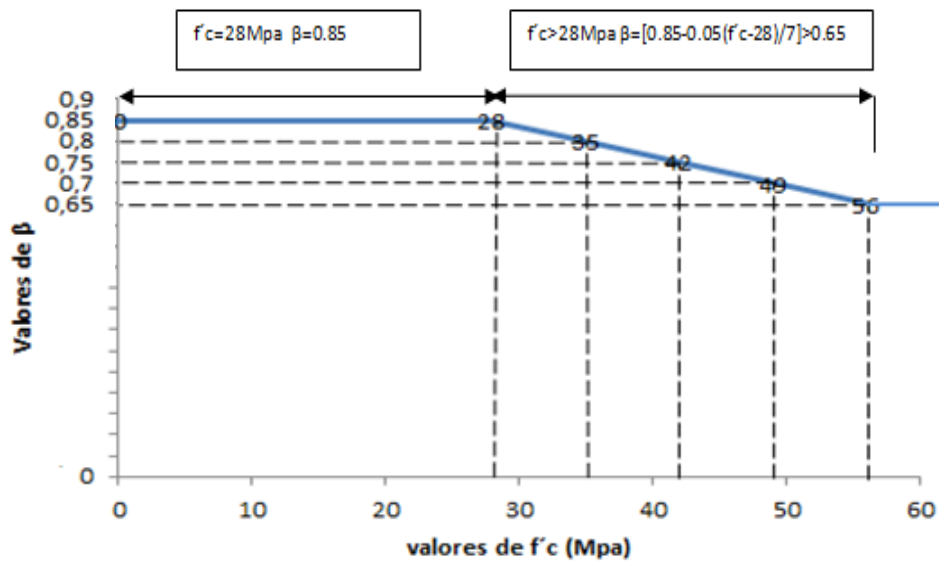


Figura 10- Valores de  $\beta_1$  en función de la resistencia del concreto.

## 2.1.2 DISPOSICIONES DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION (NEC-2011)

### Estructuras de Hormigón Armado

Requisitos Generales:

- 1) **4.1.1.1** Los elementos estructurales de hormigón armado deben cumplir con las especificaciones vigentes del Comité 318S-11 del Instituto del Concreto (Código ACI-318S-11), excepto en lo referente a su capítulo “Estructuras Sismo Resistentes”.<sup>7</sup>
- 2) **4.1.2.1** Los materiales utilizados deben cumplir con las especificaciones del Capítulo 1. La resistencia mínima específica del hormigón a la compresión

<sup>6</sup> REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-11).

<sup>7</sup> NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION. (NEC-2011, CAPÍTULO 4).

debe ser 21 MPa, y la resistencia máxima específica a la compresión para elementos de hormigón liviano debe ser 35 MPa.<sup>8</sup>

- 3) **4.1.2.2** Los factores de reducción de resistencia,  $\phi$ , son los que señala el Código ACI-318S-11.<sup>9</sup>

### **Elementos en Flexo-Compresión.**

- 4) **4.3.1** Los requisitos de este artículo se aplican a columnas, elementos de pórticos rígidos y otros elementos estructurales que presentan las siguientes características:<sup>10</sup>
- a) Sean parte de sistemas estructurales resistentes a cargas sísmicas.
  - b) Soporten fuerzas axiales que excedan **0.10f<sub>c</sub>A<sub>g</sub>** en alguna de las combinaciones de carga en que participen las cargas sísmicas.
  - c) La razón entre la dimensión menor de la sección transversal y la dimensión en la dirección ortogonal sea mayor que 0.40 ó en su defecto, que su altura libre sea mayor que cuatro veces la dimensión mayor de la sección transversal del elemento.
  - d) La dimensión más pequeña de la sección transversal, medida sobre una línea recta que pasa por su centroide, no sea menor que 300mm.

### **Cuántía de Refuerzo Longitudinal**

- 5) **4.3.3** La razón  $\rho_g$  del área de refuerzo longitudinal al área bruta de la sección, **A<sub>g</sub>**, no puede ser menor que 0.01 ni mayor que 0.003.<sup>11</sup>

### **Conexiones Viga-Columna**

- 6) **4.4** Deben cumplir los requerimientos de ACI-318S-11, Capítulo 21 "Estructuras Sismo Resistentes".<sup>12</sup>

## **2.2 ELEMENTOS DE HORMIGON SOMETIDOS A FLEXOCOMPRESION UNIAxIAL Y BIAxIAL**

### **2.2.1 FLEXOCOMPRESION UNIAxIAL.**

En la práctica, es raro encontrar columnas de concreto sometidas únicamente a cargas axiales, por lo común se encuentra sometidas a flexión en uno u dos ejes además de la carga axial.

---

<sup>8</sup> NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION. (NEC-2011, CAPÍTULO 4).

<sup>9</sup> NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION. (NEC-2011, CAPÍTULO 4).

<sup>10</sup> NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION. (NEC-2011, CAPÍTULO 4).

<sup>11</sup> NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION. (NEC-2011, CAPÍTULO 4).

<sup>12</sup> NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION. (NEC-2011, CAPÍTULO 4).

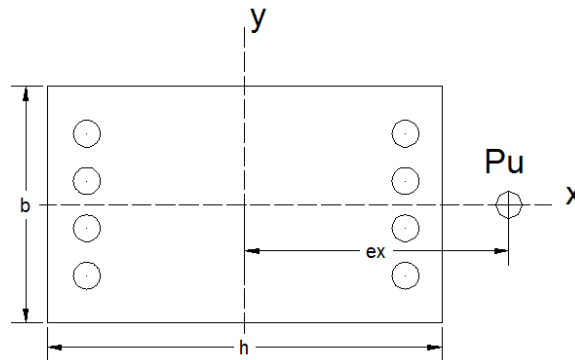


Figura 11- Columna sometida a flexo-compresión uniaxial

El diseño o investigación de un **elemento comprimido corto** se basa fundamentalmente en la resistencia de su sección transversal. La resistencia de una sección transversal solicitada a una combinación de flexión y carga axial debe satisfacer tanto la condición de equilibrio de fuerzas como la condición de compatibilidad de las deformaciones. Luego la resistencia a la combinación de carga axial y momento ( $P_n$ ,  $M_n$ ) se multiplica por el factor de reducción de la resistencia  $\phi$  que corresponda para determinar la resistencia de diseño ( $\phi P_n$ ,  $\phi M_n$ ) de la sección. La resistencia de diseño debe ser mayor o igual que la resistencia requerida:  $(\phi P_n, \phi M_n) \geq (P_u, M_u)$

Todos los elementos solicitados a una combinación de flexión y carga axial se deben diseñar para satisfacer este requisito básico. Observar que la resistencia requerida ( $P_u$ ,  $M_u$ ) representa los efectos estructurales de las diferentes combinaciones de cargas y fuerzas que pueden solicitar una estructura.

Se puede generar un "diagrama de interacción de las resistencias" graficando la resistencia a la carga axial de diseño  $\phi P_n$  en función de la correspondiente resistencia al momento de diseño  $\phi M_n$ ; este diagrama define la resistencia "utilizable" de una sección para diferentes excentricidades de la carga. En la Figura 12 se ilustra un típico diagrama de interacción de las resistencias a la carga axial y al momento de diseño, que muestra los diferentes segmentos de la curva de resistencia que se permiten para el diseño. El segmento "plano" de la curva de resistencia de diseño define la resistencia a la carga axial de diseño limitante  $P_n(\max)$ . Como se ilustra en la figura 12, a medida que disminuye la resistencia a la carga axial de diseño  $\phi P_n$ , se produce una transición entre el límite correspondiente a secciones controladas por compresión y el límite correspondiente a secciones controladas por tracción.

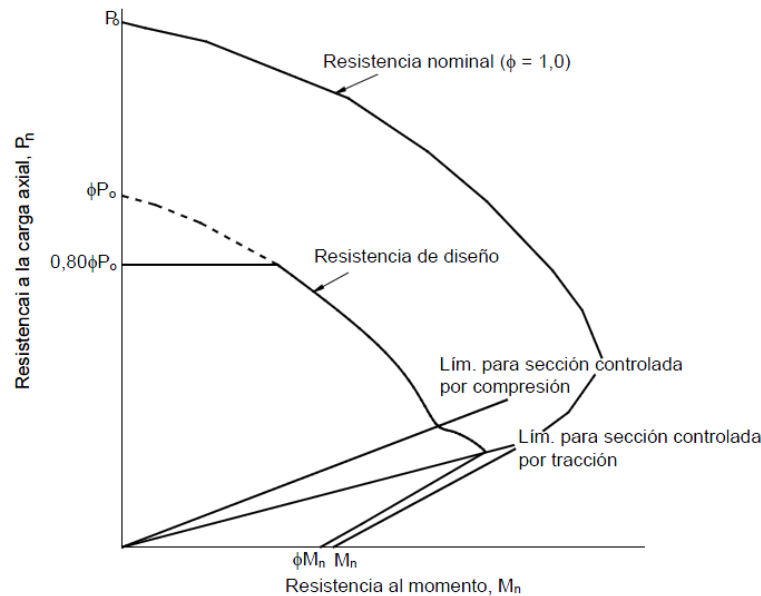


Figura 12- Diagrama de interacción (columna con estribos cerrados)

## 2.2.2 FLEXOCOMPRESION BIAxIAL.

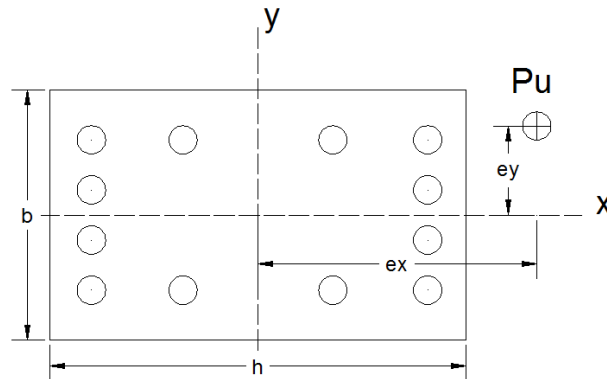


Figura 13- Columna sometida a flexo-compresión biaxial

Una columna está solicitada a flexocompresion biaxial cuando la carga provoca flexión simultánea respecto de ambos ejes principales. El caso más habitual de este tipo de carga ocurre en las columnas de esquina. El diseño para flexión biaxial y carga axial se menciona en R10.3.6 y R10.3.7 (ACI 318-11). La Sección 10.11.6 trata los factores de amplificación de momento por consideraciones de esbeltez para los elementos comprimidos solicitados a carga biaxial. La sección R10.3.6 establece que **"las columnas de esquina y otras que estén expuestas a momentos conocidos respecto de ambos ejes que ocurren en forma simultánea se deben diseñar para flexión biaxial y carga axial."** Se recomiendan dos métodos para el diseño combinado a flexión biaxial y carga axial: el Método de las Cargas Recíprocas y el Método del Contorno de las Cargas. A continuación se presentan ambos métodos,

junto con una extensión del Método del Contorno de las Cargas (Método del Contorno de las Cargas de la PCA).

La resistencia nominal de una sección solicitada a flexión biaxial y compresión es una función de tres variables,  $P_n$ ,  $M_{nx}$  y  $M_{ny}$ , las cuales se pueden expresar en términos de una carga axial actuando con excentricidades  $e_x = M_{ny}/P_n$  y  $e_y = M_{nx}/P_n$ , como se ilustra en la Figura 15. Una superficie de falla se puede describir como una superficie generada graficando la carga de falla  $P_n$  en función de sus excentricidades  $e_x$  y  $e_y$ , o de sus momentos flectores asociados  $M_{ny}$  y  $M_{nx}$ . **Se han definido tres tipos de superficies de falla.** La superficie básica  $S_1$  se define mediante una función que depende de las variables  $P_n$ ,  $e_x$  y  $e_y$ ; esta superficie se ilustra en la Figura 14(a). A partir de  $S_1$  se puede derivar una superficie recíproca; para generar la superficie  $S_2$  ( $1/P_n$ ,  $e_x$ ,  $e_y$ ) se utiliza la recíproca o inversa de la carga axial nominal  $P_n$  como se ilustra en la Figura 14(b). El tercer tipo de superficie de falla, ilustrado en la Figura 14(c), se obtiene relacionando la carga axial nominal  $P_n$  con los momentos  $M_{nx}$  y  $M_{ny}$  para producir la superficie  $S_3$  ( $P_n$ ,  $M_{nx}$ ,  $M_{ny}$ ). La superficie de falla  $S_3$  es la extensión tridimensional del diagrama de interacción uniaxial que mencionamos anteriormente. Varios investigadores han desarrollado aproximaciones tanto para la superficie de falla  $S_2$  como para la  $S_3$  que se pueden usar para el diseño y el análisis.

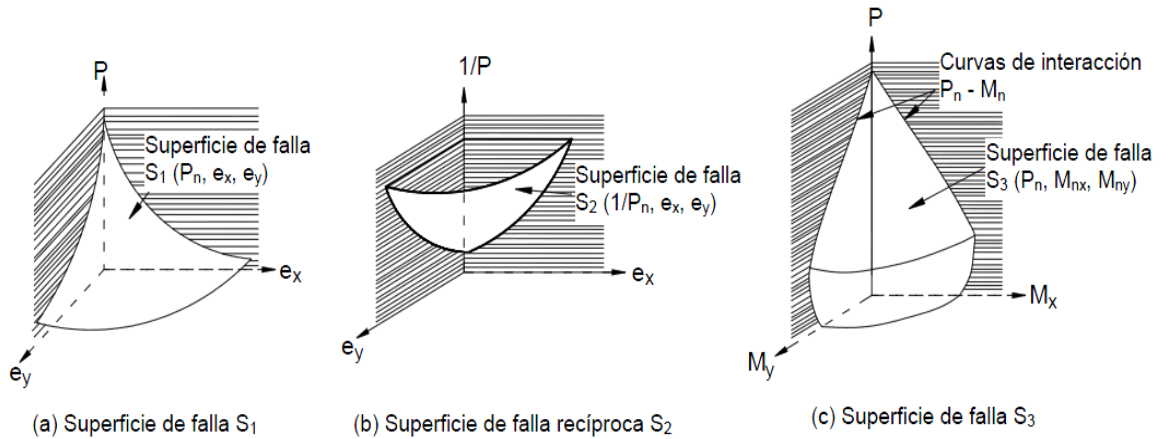


Figura 14-Superficies de falla

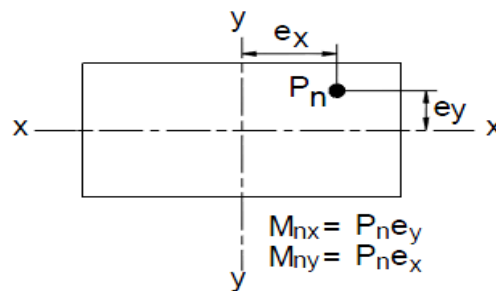


Figura 15- Simbología utilizada para carga biaxial

### a) Método de las Cargas Recíprocas de Bresler

Este método aproxima la ordenada  $1/P_n$  en la superficie  $S_2$  ( $1/P_n$ ,  $e_x$ ,  $e_y$ ) mediante una ordenada correspondiente  $1/P'_n$  en el plano  $S'_2$  ( $1/P'_n$ ,  $e_x$ ,  $e_y$ ), el cual se define por los puntos característicos A, B y C como se indica en la Figura 16. Para cualquier sección transversal en particular, el valor  $P_o$  (correspondiente al punto C) es la resistencia a la carga bajo compresión axial pura;  $P_{ox}$  (correspondiente al punto B) y  $P_{oy}$  (correspondiente al punto A) son las resistencias a la carga bajo excentricidades uniaxiales  $e_y$  y  $e_x$ , respectivamente. Cada punto de la superficie verdadera se aproxima mediante un plano diferente; por lo tanto, la totalidad de la superficie se aproxima usando un número infinito de planos.

La expresión general para la resistencia a la carga axial  $P$  para cualquier valor de  $e_x$  y  $e_y$  es la siguiente:

$$\frac{1}{P_n} \approx \frac{1}{P'_n} = \frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} - \frac{1}{P_o} \quad (1)$$

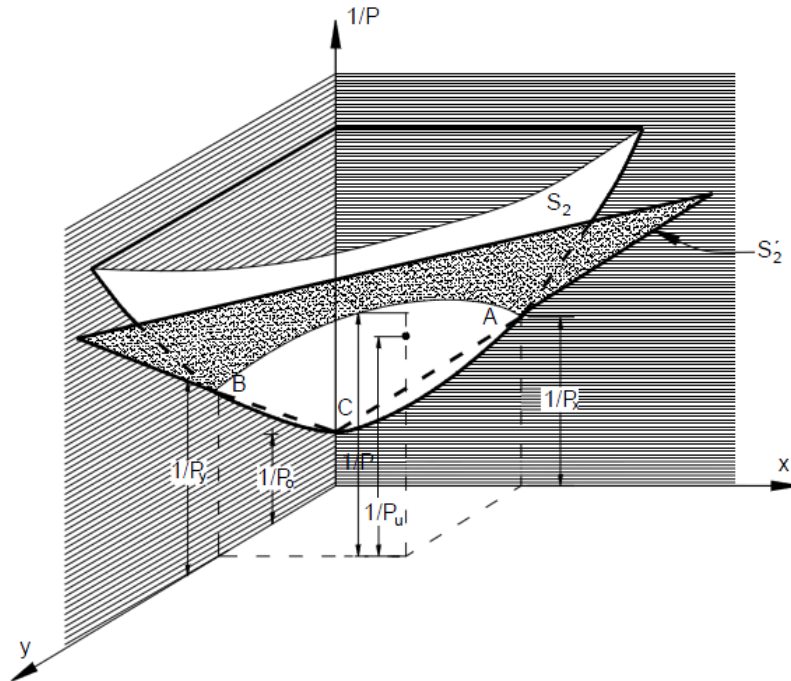


Figura 16- Método de las cargas recíprocas



Reordenando las variables se obtiene:

$$P_n = \frac{1}{\frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} - \frac{1}{P_o}}$$

Donde:

$P_{ox}$  = Máxima resistencia a la carga uniaxial de la columna con un momento de  $M_{nx}$   
 $= P_n$  ey

$P_{oy}$  = Máxima resistencia a la carga uniaxial de la columna con un momento de  $M_{ny}$   
 $= P_n$  ex

$P_o$  = Máxima resistencia a la carga axial sin momentos aplicados. Esta ecuación tiene una forma sencilla y las variables se pueden determinar fácilmente. Las resistencias a la carga axial  $P_o$ ,  $P_{ox}$  y  $P_{oy}$  se determinan usando cualquiera de los métodos para flexión uniaxial con carga axial. Resultados experimentales han demostrado que esta ecuación será razonablemente exacta si la flexión no gobierna el diseño. La ecuación sólo se debe usar si:

$$P_n \geq 0,1 f_c A_g$$

#### **b) Método del Contorno de las Cargas de Bresler**

En este método se aproxima la superficie S3 ( $P_n$ ,  $M_{nx}$ ,  $M_{ny}$ ) mediante una familia de curvas correspondientes a valores constantes de  $P_n$ . Como se ilustra en la Figura 17, estas curvas se pueden considerar como "contornos de las cargas."

La expresión general para estas curvas se puede aproximar por medio de una ecuación de interacción adimensional de la forma:

$$\left( \frac{M_{nx}}{M_{nox}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{ny}}{M_{noy}} \right)^\beta = 1,0 \quad (2)$$

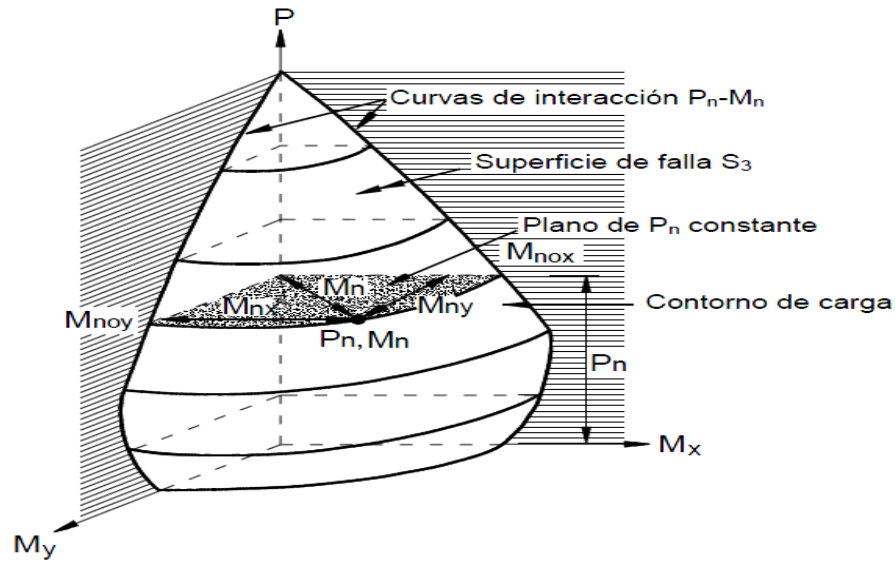


Figura 17- Contornos de las cargas de Bresler para  $P_n$  constante en la superficie de falla  $S_3$

Donde:  $M_{nx}$  y  $M_{ny}$  son las resistencias nominales al momento biaxial en las direcciones de los ejes  $x$  e  $y$ , respectivamente. Observar que estos momentos son el equivalente vectorial del momento uniaxial  $M_n$ . El momento  $M_{nox}$  es la resistencia nominal al momento uniaxial respecto del eje  $x$ , y el momento  $M_{noy}$  es la resistencia nominal al momento uniaxial respecto del eje  $y$ . Los valores de los exponentes  $\alpha$  y  $\beta$  son función de la cantidad, distribución y ubicación de la armadura, las dimensiones de la columna, la resistencia y las propiedades elásticas del acero y el hormigón.

Bresler indica que es razonable suponer  $\alpha = \beta$ ; por lo tanto, la Ecuación 2 anterior se convierte en:

$$\left( \frac{M_{nx}}{M_{nox}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{ny}}{M_{noy}} \right)^\alpha = 1,0 \quad (3)$$

Lo cual se representa gráficamente en la Figura 18. Para utilizar la Ecuación (3) o la Figura 10 aún es necesario determinar el valor  $\alpha$  para la sección transversal considerada. Bresler indicó que, típicamente,  $\alpha$  variaba entre 1,15 y 1,55 y que un valor de 1,5 era razonablemente exacto para la mayoría de las secciones cuadradas y rectangulares con armadura uniformemente distribuida.

Fijando  $\alpha$  igual a la unidad, la ecuación de interacción se vuelve lineal:

$$\frac{M_{nx}}{M_{nox}} + \frac{M_{ny}}{M_{noy}} = 1,0 \quad (4)$$

Como se ilustra en la Figura 18, con la Ecuación (anterior) siempre se obtendrán valores conservadores, ya que subestima la capacidad de la columna especialmente

para el caso de cargas axiales elevadas o bajos porcentajes de armadura. Sólo se debería usar cuando

$$P_n < 0,1 f_c A_g \quad (5)$$

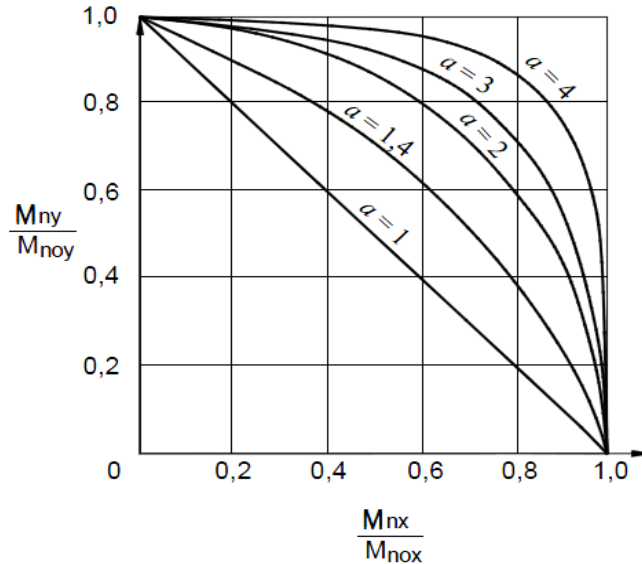


Figura 18- Curvas de interacción del Contorno de Cargas de Bresler de la Ecuación (2)

### c) Método del Contorno de las Cargas de la PCA

El enfoque de la PCA descrito a continuación fue desarrollado como una extensión o ampliación del Método del Contorno de las Cargas de Bresler. Se eligió la ecuación de interacción de Bresler [Ecuación (3)] como el método más viable en términos de exactitud, practicidad y potencial de simplificación.

En la Figura 19(a) se ilustra un contorno de carga típico según Bresler para una cierta  $P_n$ . En el método de la PCA, el punto B se define de manera tal que las resistencias nominales al momento biaxial  $M_{nx}$  y  $M_{ny}$  tienen la misma relación que las resistencias al momento uniaxial  $M_{nox}$  y  $M_{noy}$ . Por lo tanto, en el punto B

$$\frac{M_{nx}}{M_{ny}} = \frac{M_{nox}}{M_{noy}} \quad (6)$$

Cuando el contorno de carga de la Figura 19(a) se hace adimensional toma la forma indicada en la Figura 19(b), y el punto B tendrá las coordenadas  $x$  e  $y$  iguales a  $\beta$ . Si se grafica la resistencia a la flexión en términos de los parámetros adimensionales  $P_n/P_o$ ,  $M_{nx}/M_{nox}$ ,  $M_{ny}/M_{noy}$  (estos dos últimos llamados momentos relativos), la superficie de falla generada S4 ( $P_n/P_o$ ,  $M_{nx}/M_{nox}$ ,  $M_{ny}/M_{noy}$ ) adopta la forma típica ilustrada en la Figura 19(c). La ventaja de expresar el comportamiento en términos relativos es que los contornos de la superficie (Fig. 19(b)), es decir, la

intersección formada por los planos de  $P_n/P_o$  constante y la superficie – para los propósitos del diseño se pueden considerar simétricos respecto del plano vertical que bisecta los dos planos coordenados. Aún para las secciones que son rectangulares o en las cuales la armadura no está uniformemente distribuida, esta aproximación permite obtener valores con precisión suficiente para el diseño.

La relación entre  $\alpha$  de la Ecuación (3) y  $\beta$  se obtiene reemplazando las coordenadas del punto B de la Figura 19(a) en la Ecuación (3), y resolviendo para  $\alpha$  en función de  $\beta$ . Así se obtiene:

$$\alpha = \frac{\log 0,5}{\log \beta}$$

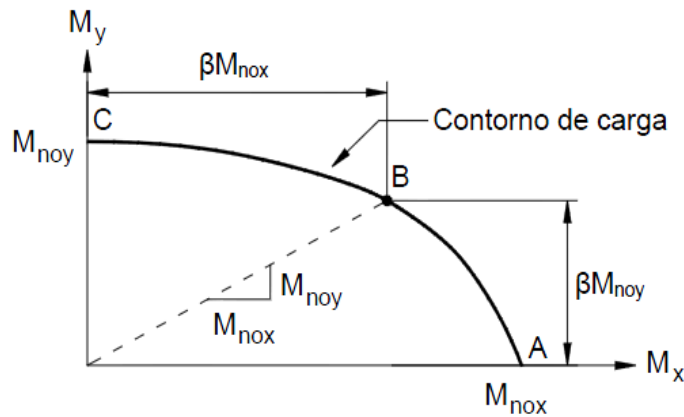


Figura 19(a)- Contorno de cargas de la superficie de falla S3 sobre un plano de  $P_n$  constante

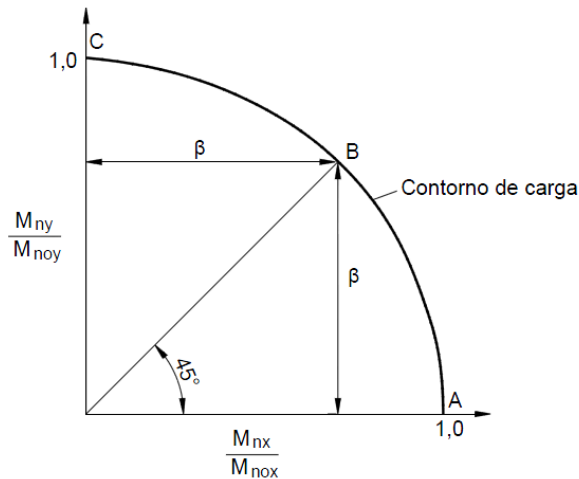


Figura 19(b)- Contornos de cargas adimensionales para  $P_n$  constante

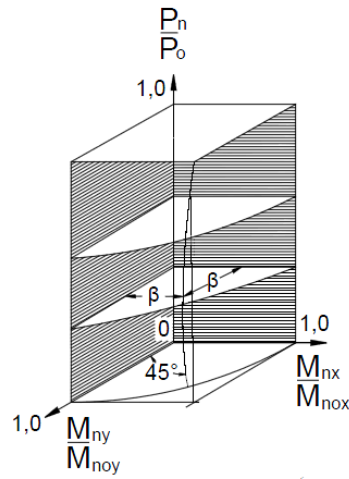


Figura 19(c)- Superficie de falla S4

En consecuencia la Ecuación (3) se puede escribir como:

$$\left( \frac{M_{nx}}{M_{nox}} \right)^{\left( \frac{\log 0,5}{\log \beta} \right)} + \left( \frac{M_{ny}}{M_{noy}} \right)^{\left( \frac{\log 0,5}{\log \beta} \right)} = 1,0 \quad (7)$$

*Ecuación Logarítmica- Exponencial de Parme- PCA*

Para simplificar el diseño, en la Figura 20 se grafican las curvas generadas por la Ecuación (7) para nueve valores de  $\beta$ . Observar que cuando  $\beta = 0,5$  (su límite inferior), la Ecuación (7) es una recta que une los puntos en los cuales los momentos relativos son iguales a 1,0 a lo largo de los planos coordenados. Cuando  $\beta = 1,0$  (su límite superior), la Ecuación (7) toma la forma de dos rectas, cada una de ellas paralela a uno de los planos coordenados.

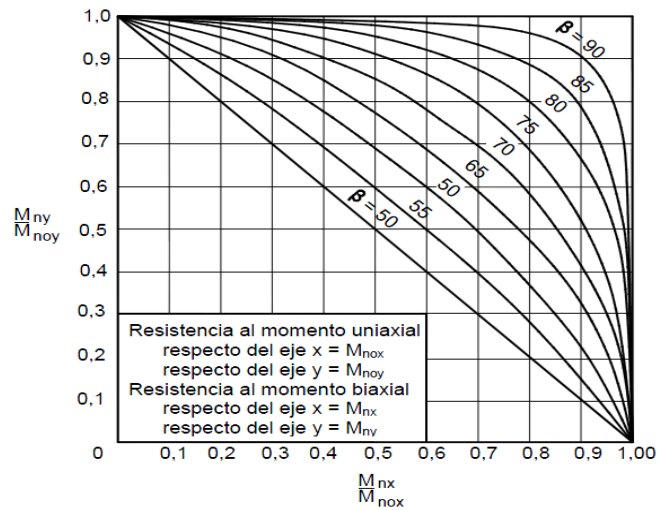


Figura 20- Relación de resistencia momento biaxial y uniaxial

A continuación se ilustra uno de los ocho ábacos preparados por PARME, de los cuales podemos obtener los valores de  $\beta$ .

Como se puede observar en las Figura 21,  $\beta$  depende fundamentalmente de  $P_n/P_o$  y en menor medida, aunque todavía significativamente, de la distribución de las barras, del índice de armadura  $\omega$  y de la resistencia de la armadura.

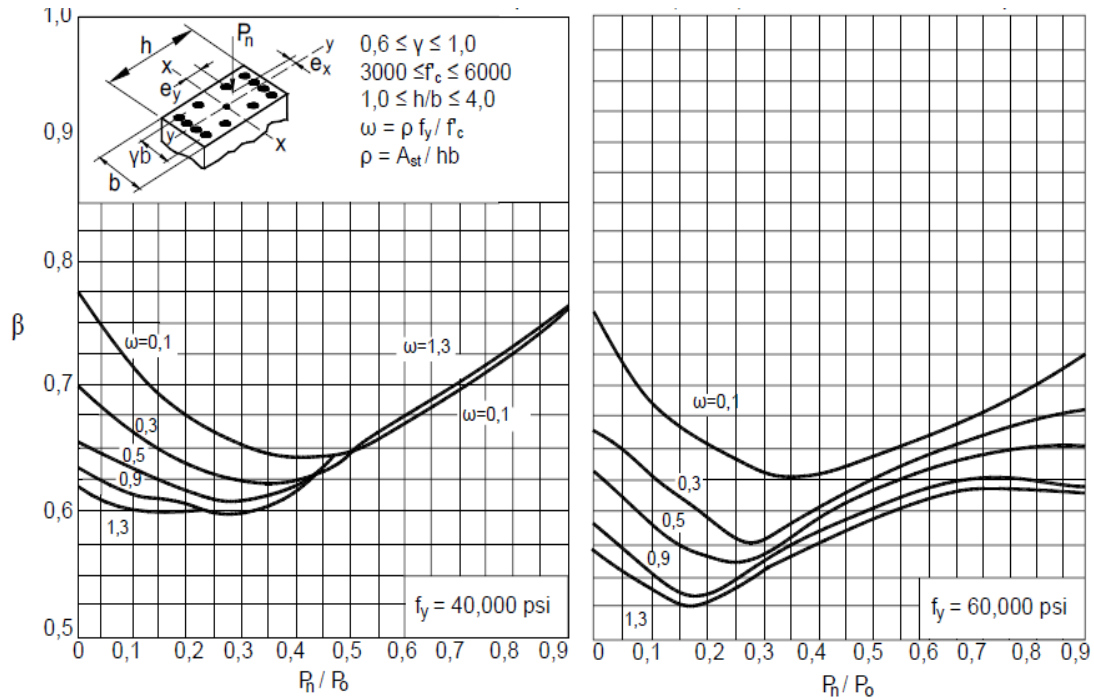


Figura 21- Constantes para el diseño biaxial- Disposiciones con 12 o mas barras

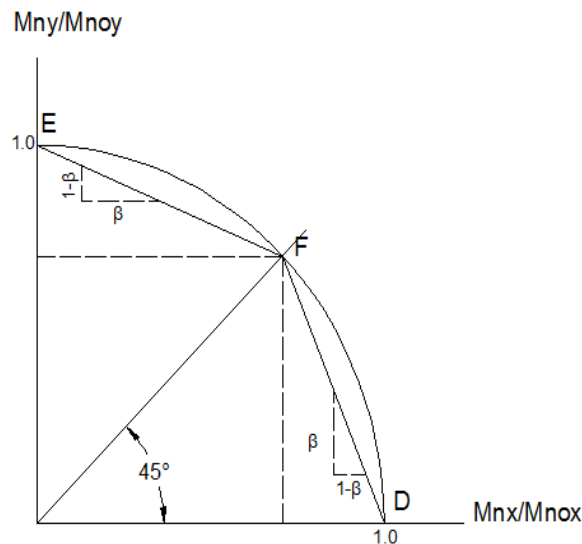


Figura 22- Aproximación bilineal de un contorno de carga adimensional. Figura 19(b)

Por simples consideraciones geométricas se puede demostrar que la ecuación de la recta superior es:

$$\frac{M_{nx}}{M_{nox}} \left( \frac{1-\beta}{\beta} \right) + \frac{M_{ny}}{M_{noy}} = 1 \text{ para } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} > \frac{M_{noy}}{M_{nox}} \quad (8)$$

Que por conveniencia se puede escribir como:

$$M_{nx} \left( \frac{M_{noy}}{M_{nox}} \right) \left( \frac{1-\beta}{\beta} \right) + M_{ny} = M_{noy} \quad (9)$$

Las ecuaciones de la recta inferior son:

$$\frac{M_{nx}}{M_{nox}} + \frac{M_{ny}}{M_{noy}} \left( \frac{1-\beta}{\beta} \right) = 1 \text{ para } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} < \frac{M_{noy}}{M_{nox}} \quad (10)$$

$$\text{ó } M_{nx} + M_{ny} \left( \frac{M_{nox}}{M_{noy}} \right) \left( \frac{1-\beta}{\beta} \right) = M_{nox} \quad (11)$$

Según PARME para las secciones rectangulares con armadura simétrica en todas sus caras:

$$\frac{M_{noy}}{M_{nox}} \approx \frac{b}{h}$$

Por lo que las ecuaciones 9 y 11 se pueden escribir de la siguiente forma respectivamente:

$$M_{nx} \frac{b}{h} \left( \frac{1-\beta}{\beta} \right) + M_{ny} \approx M_{noy} \quad ; \quad M_{nx} + M_{ny} \frac{h}{b} \left( \frac{1-\beta}{\beta} \right) = M_{nox}$$

En las ecuaciones de diseño (9) y (11), se debe seleccionar la relación  $b/h$  ó  $h/b$  y se debe suponer el valor de  $\beta$ . Para las columnas poco cargadas  $\beta$  generalmente variará entre 0,55 y alrededor de 0,70. Por lo tanto, en general una buena opción para iniciar un análisis de flexión biaxial consiste en tomar un valor de  $\beta$  igual a 0,65.

## 2.3 SOLICITACIONES UNIAXIAL EQUIVALENTES PARA EFECTOS DE DISEÑO

Cuando se tiene el caso que se debe diseñar elementos de hormigón sometidos a flexocompresion biaxial como paso previo para facilitar el cálculo es necesario

transformar el estado de sollicitación biaxial a un estado de sollicitación uniaxial equivalente, para ello la mejor alternativa es mediante el uso de las ecuaciones de diseño establecidas por PARME- PCA, para poder elegir una de las dos ecuaciones es necesario que se cumpla ciertos requerimientos en base a los datos que de antemano se conocen:  $M_{uy}$ ,  $M_{ux}$ ,  $P_u$ .

- 1) Si  $\frac{M_{uy}}{M_{ux}} \geq \frac{b}{h}$  entonces  $M_{uoy} \cong M_{uy} + M_{ux} \left( \frac{b}{h} \right) \left( \frac{1-\beta}{\beta} \right)$
- 2) Si  $\frac{M_{uy}}{M_{ux}} \leq \frac{b}{h}$  entonces  $M_{uox} \cong M_{ux} + M_{uy} \left( \frac{h}{b} \right) \left( \frac{1-\beta}{\beta} \right)$

Una vez determinado cual de las ecuaciones es la adecuada para nuestros requerimientos entonces estamos en capacidad de determinar la sollicitación uniaxial equivalentes y la excentricidad equivalente, para poder entender lo antes mencionado desde otro punto de vista lo haremos gráficamente.

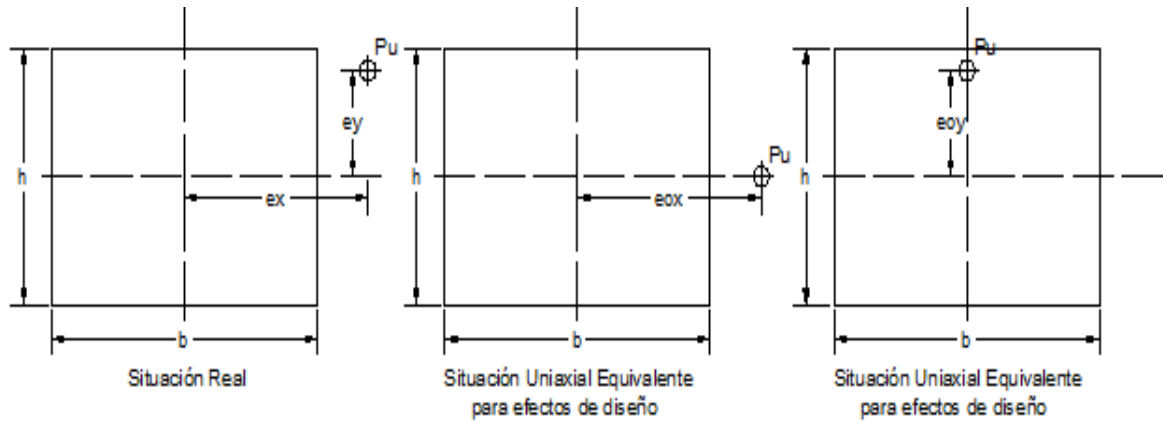


Figura 23.- Estado de sollicitación uniaxial equivalente

$$e_{ox} = \frac{M_{uoy}}{P_u} ; \quad e_{oy} = \frac{M_{uox}}{P_u}$$

## 2.4 PORCENTAJE DE REFUERZO MINIMO Y MAXIMO PARA COLUMNAS

Los requisitos para el refuerzo longitudinal de columnas con el propósito de que su comportamiento ante las sollicitaciones sea dúctil se ha establecido un límite inferior en cuantía de refuerzo longitudinal del 1% de la sección transversal de la columna, y un límite superior del 8% de acuerdo con el ACI 318-11.

El límite inferior pretende evitar que el acero fluya para cargas inferiores a la fluencia teórica que pudiera darse por el flujo plástico del concreto, el cual causa una



transferencia de esfuerzos entre el concreto y el refuerzo; el límite inferior también pretende proporcionar a la columna una resistencia mínima a la flexión.

El límite superior tiene como objetivo que la columna tenga un comportamiento satisfactoriamente dúctil, así como evitar un congestionamiento de refuerzo transversal.

## 2.5 FACTORES DE RESISTENCIA DE DISEÑO.

El código ACI 318-11 en el capítulo 9 hace referencia a los factores de resistencia recomendados a utilizar con el objeto de tener un diseño adecuado cuando un elemento está sometido a cualquiera de las solicitaciones que se pueden presentar ya sea esta: carga axial, flexión, cortante y torsión.

El código en la sección 9.3 menciona: “La resistencia de diseño de un elemento es la resistencia nominal calculada de acuerdo con las disposiciones y suposiciones establecidas en este reglamento, multiplicada por un factor de reducción de resistencia  $\phi$  que siempre es menor que la unidad”.

El objetivo de utilizar este factor de resistencia  $\phi$  es tener en cuenta algunos aspectos importantes para el diseño de elementos de hormigón:

- 1) Tener en consideración que se puede tener elementos con baja resistencia debido a la calidad de los materiales utilizados y a las técnicas constructivas utilizadas en su elaboración.
- 2) Se debe considerar que las ecuaciones determinadas para el diseño no son exactas debido a ciertos arreglos matemáticos que se realizan para facilitar el cálculo.
- 3) Grado de ductilidad y confiabilidad requerida en el elemento a diseñarse.
- 4) Importancia del elemento dentro del conjunto de la estructura.

Con estas consideraciones el ACI 318-11 presenta los factores de resistencia de diseño en las secciones 9.3.2.1- 9.3.1.2.

Secciones controladas por tracción: -----0,90

Secciones controladas por compresión:

Elementos con armadura en espiral: ----- 0,75

Otros elementos reforzados: ----- 0,65

Corte y Torsión: ----- 0,75

Aplastamiento en el concreto (excepto para anclajes de postensado):----- 0,65

Para anclajes de Postensado: ----- 0,85

“Para las secciones en que la deformación neta a la tracción en el acero extremo en tracción en el estado de resistencia nominal  $\epsilon_t$ , se encuentra entre los límites para secciones controladas por compresión y las secciones controladas por tracción, se permite que  $\phi$  aumente linealmente desde el valor correspondiente a las secciones controladas por compresión hasta 0,90 en la medida que  $\epsilon_t$  aumente desde el límite de deformación unitaria controlada por compresión hasta 0,005”.

Para el desarrollo de nuestro trabajo utilizaremos los factores  $\phi$  para compresión con armadura con estribos, para tracción y para la zona de transición donde  $\phi$  depende de la deformación específica del acero más traccionado

Los valores del factor de resistencia  $\phi$  se pueden representar gráficamente junto con las ecuaciones desarrolladas para la zona de transición tanto para columnas con estribos y columnas con espiral o zuncho:

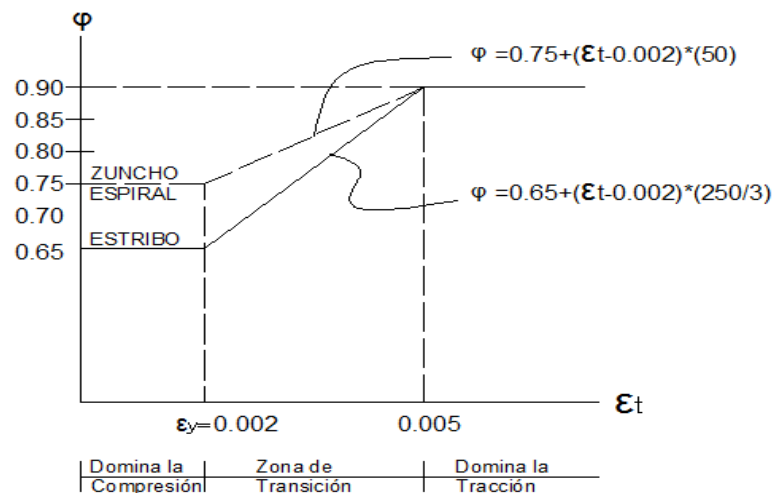


Figura 24.- Representación gráfica de los valores de  $\phi$  (ACI 318-11)

## 2.6 MAXIMA RESISTENCIA A CARGA AXIAL

Es importante recordar que la resistencia de un prisma de hormigón disminuye al aumentar la relación de esbeltez, hasta llegar a un valor mínimo aproximadamente igual al 85% de la resistencia de un prisma con relación de esbeltez igual a dos. Por consiguiente, la resistencia de un elemento de concreto simple sujeto a compresión axial puede estimarse como el producto del 85% del esfuerzo medido en un cilindro de control ( $f'_c$ ), ensayado en las mismas condiciones por el área de la sección transversal del elemento.

El factor de reducción 0.85, es solo un promedio de resultados de ensayos en miembros colados verticalmente. Se han encontrado valores para este factor desde 0.69 hasta 0.95.

La resistencia adicional sobre la de un prisma de concreto simple es debida a la contribución del refuerzo longitudinal en compresión. Se puede estimar esta contribución como el producto del área de acero por el esfuerzo de fluencia  $f_y$ .

Por lo tanto, la resistencia o carga máxima que un prisma de concreto con refuerzo longitudinal y estribos transversales que es capaz de alcanzar, está dada por la expresión:

$$P_0 = 0.85f'_cA_g + A_s f_y$$

Cabe recalcar que  $A_g$  representa el área total de concreto, sin descontar el área ocupada por las barras de acero, el error que se comete al no hacerlo es pequeño. Para % considerables vale la pena descontar el área de las barras.

De acuerdo con lo estipulado en ACI 318-08 sección 10.3.6. La resistencia axial de diseño  $\phi P_n$  de elementos en compresión no debe tomarse mayor que  $\phi P_{n_{\max}}$  calculado usando la ecuación (10-1) ó (10-2).

$$\phi P_{n_{\max}} = 0.85\phi[0.85f'_c(A_g - A_s) + A_s f_y] \text{ Para columnas con zunchos ó espiral}$$

$$\phi P_{n_{\max}} = 0.80\phi[0.85f'_c(A_g - A_s) + A_s f_y] \text{ Para columnas con estribos}$$

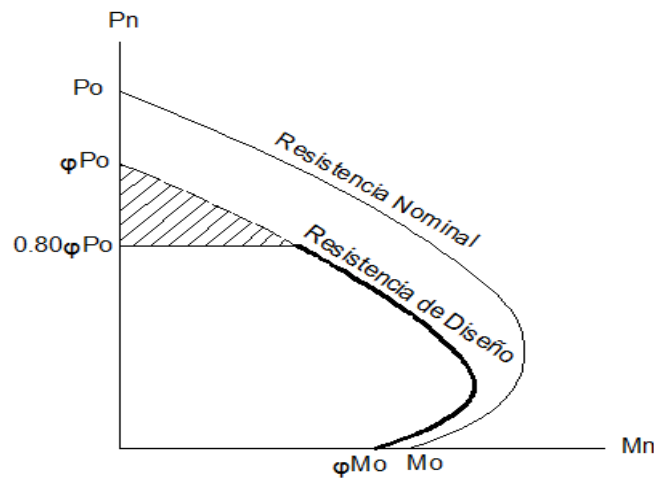


Figura 25.- Resistencia de diseño

Lo antes mencionado se puede reducir a la siguiente expresión con la condición que el área sombreada no se considera para el diseño:

$$\phi P_n \leq \phi P_{n_{\max}} \quad ; \quad P_n = 0.80P_0 \quad * \text{ Para columnas con estribos}$$

### **CAPITULO III**

#### **3.1 DIAGRAMAS DE INTERACCION CON SOLICITACION UNIAXIAL Y BIAxIAL**

Este capítulo está orientado a desarrollar un análisis de que es lo que va a realizar el programa paso a paso, así como también se indicara los datos necesarios que se debe ingresar por teclado para que el computador pueda realizar el proceso de diseño de columnas con solicitación uniaxial y biaxial, y de esta forma obtener los denominados diagramas de interacción.

Un diagrama de interacción uniaxial define la resistencia a la combinación de carga y momento en un único plano de una sección solicitada por una carga axial  $P$  y un momento uniaxial  $M$ . La resistencia a la flexión biaxial de una columna cargada axialmente se puede representar esquemáticamente como una superficie formada por una serie de curvas de interacción uniaxial trazadas en forma radial a partir del eje  $P$  (ver Figura 16). Los datos para estas curvas intermedias se obtienen variando el ángulo del eje neutro (para configuraciones de deformación específica supuestas) con respecto a los ejes principales.

La dificultad asociada con la determinación de la resistencia de las columnas armadas solicitadas a combinaciones de carga axial y flexión biaxial es fundamentalmente de naturaleza aritmética. La resistencia a la flexión de una columna cargada axialmente respecto de un eje oblicuo particular se determina mediante iteraciones que involucran cálculos sencillos pero laboriosos.

Para la flexión uniaxial es habitual utilizar ayudas de diseño en forma de curvas o tablas de interacción. Sin embargo, debido a la naturaleza voluminosa de los datos y a lo difícil que resulta realizar múltiples interpolaciones, no resulta práctico desarrollar curvas o tablas de interacción para diferentes relaciones entre los momentos flectores respecto de cada eje. Por este motivo se ha desarrollado este programa para poder determinar la resistencia de una columna respecto de un único plano con un determinado ángulo de rotación del eje neutro generado por los momentos  $M_{nx}$  y  $M_{ny}$ , obteniendo  $P_n$  y  $M_n$ .

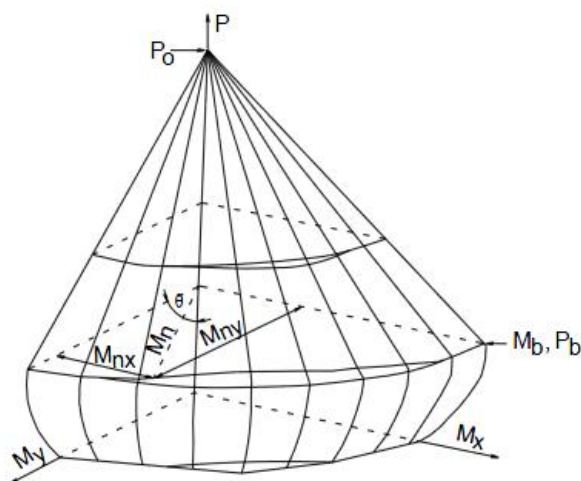


Figura 26- Superficie de interacción biaxial

### 3.2 JUSTIFICACION DE ALGORITMOS PARA GENERAR LOS DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE COLUMNAS CON SOLICITACION BIAxIAL.

Es necesario recalcar que los algoritmos que se indicaran a continuación fueron desarrollados específicamente para columnas rectangulares con estribos y armadura longitudinal simétrica ya sea en las dos caras o cuatro, de acuerdo a los requerimientos de diseño.

A continuación se presenta los procesos desarrollados en el programa hasta llegar a construir los denominados diagramas de interacción.

#### 3.2.1 DATOS A INGRESAR

**v\_h** = alto de la columna

**v\_b** = base de la columna

**v\_fy** = resistencia a la fluencia del acero

**v\_fc** = resistencia a la compresión del hormigón

**v\_dme** = distancia asumida desde la cara en compresión de la columna hasta el centroide del refuerzo

**v\_pu** = carga ultima factorizada

**v\_mux** = momento último que gira alrededor del eje x-x

**v\_muy** = momento último que gira alrededor del eje y-y

**v\_mes** = módulo de elasticidad del acero

**v\_ec** = máxima deformación utilizable del hormigón a compresión

**v\_numfil** = número de filas de varillas paralelas al eje x-x.

Una vez ingresado el número de filas de varillas paralelo al eje x-x el programa inmediatamente le pedirá que ingrese el número de varillas por cada fila, esto lo hará tantas veces sea el número de filas paralelo al eje x-x ingresado anteriormente, finalmente realizara la suma de las varillas en cada fila, obteniendo de esta forma el número total de varillas (**total\_varillas**).

### 3.2.2 PROCEDIMIENTO: **MatPorRefuerzo.**

Este procedimiento genera la matriz de porcentaje de refuerzo total que será utilizado en el diseño de la columna y que de acuerdo a lo que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción ( NEC-11) debe estar entre el 1% y 3 % , anteriormente en el numeral 2.4 se explicó por qué el acero de refuerzo debe estar dentro de estos rangos.

### 3.2.3 PROCEDIMIENTO: **r\_Beta.**

Procede a calcular la constante  $\beta$  cuyo valor depende de la resistencia del hormigón, este resultado se utiliza posteriormente en el cálculo del AEHC, en la **figura 10** se puede observar cómo se obtiene el valor de beta en función de la resistencia del hormigón.

### 3.2.4 PROCEDIMIENTO: **Corte.**

Se realiza un corte perpendicular al eje de flexión, para nuestro caso el eje de flexión corresponde a la proyección del ángulo formado entre excentricidades **ex** y **ey**, este corte se realiza para visualizar con más facilidad una serie de variables que a simple vista no es posible apreciar, tales como son Dis(i), X(i), Z(i), donde:

Dis(i): Distancias desde la fibra extrema en compresión hasta el de cada acero de refuerzo.

X(i): Distancias desde el eje neutro de la sección al centroide de cada varilla.

Z(i): Son los brazos de palanca desde el centro de gravedad hasta el centroide de cada varilla.

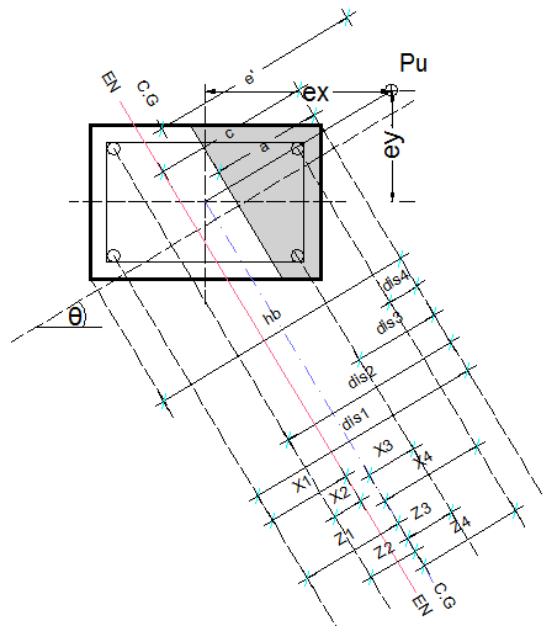


Figura 27.- Corte paralelo a la recta que se forma con el ángulo de inclinación.

Para poder determinar las variables que se observan en la figura 27 es necesario realizar ciertas operaciones.

En función del número de filas de varillas paralelo al eje x-x y con el número de varillas por fila determinamos las distancias (Sx, Sy) entre ellas para los ejes “x e y”.

$$r_{sx} = (v_b - 2 * (v_{dme})) / (v_{numfily} - 1)$$

$$r_{sy} = (v_h - 2 * (v_{dme})) / (v_{numfil} - 1)$$

- Se determinara las coordenadas de cada varilla con respecto al vértice inferior izquierdo de la sección, es necesario tener en cuenta que el procedimiento que a continuación se indica está basado en principios básicos de programación, de esta forma se obtiene un procedimiento genérico valido para cualquier caso. El proceso es el siguiente:

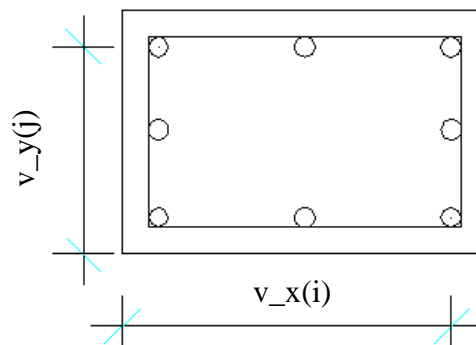


Figura 28.- Coordenadas de cada varilla

```

For i = 1 To v_numfil
For j = 1 To v_numfilyy
If i = 1 Then
v_x = v_dme + (r_sx * (j - 1))
v_y = v_dme
End If

If i > 1 And i < v_numfil And j = 1 Then
v_x = v_dme
v_y = v_dme + (r_sy * (i - 1))
End If

If i > 1 And i < v_numfil And j = v_numfilyy Then
v_x = v_dme + (r_sx * (j - 1))
v_y = v_dme + (r_sy * (i - 1))
End If

If i = v_numfil Then
v_x = v_dme + (r_sx * (j - 1))
v_y = v_dme + (r_sy * (i - 1))
End If

If i > 1 And i < v_numfil And j > 1 And j < v_numfilyy Then
v_x = -99
v_y = -99
End If

If v_x <> -99 And v_y <> -99 Then
Sheets("MatPorRefuerzo").Select
Range("J2").Select
Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop
ActiveCell = (v_x)
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell = (v_y)
End If
Next
Next
End Function

```



Dónde:

- v\_numfil:** número de filas de varillas paralelo al eje X
- v\_numfily:** número de filas de varillas paralelo al eje Y
- v\_x:** coordenadas en X de cada varilla
- v\_y:** coordenadas en Y de cada varilla

- A continuación se determina la posición de cada varilla con respecto al vértice superior derecho de la sección de la siguiente forma:

$$r_x = v_b - v_x$$

$$r_y = v_h - v_y$$

Dónde:

- v\_b:** base de la columna
- v\_h:** altura de la columna

- Ahora en función de la posición de cada varilla se determina la distancia efectiva (*distancia afectada por el ángulo de inclinación del eje neutro*) desde la cara más comprimida de la sección al centroide de cada varilla, esta distancia se mide paralelo a la recta que se forma entre la horizontal y L1, esto se puede observar en la figura 29, y se obtiene de la siguiente forma:

$$Dis(i) = Hipot(i) * \cos(\lambda) \quad * \text{Ecuación válida para cualquier número de varillas}$$

$$hb = v_b * \cos \theta + v_h * \sin \theta$$

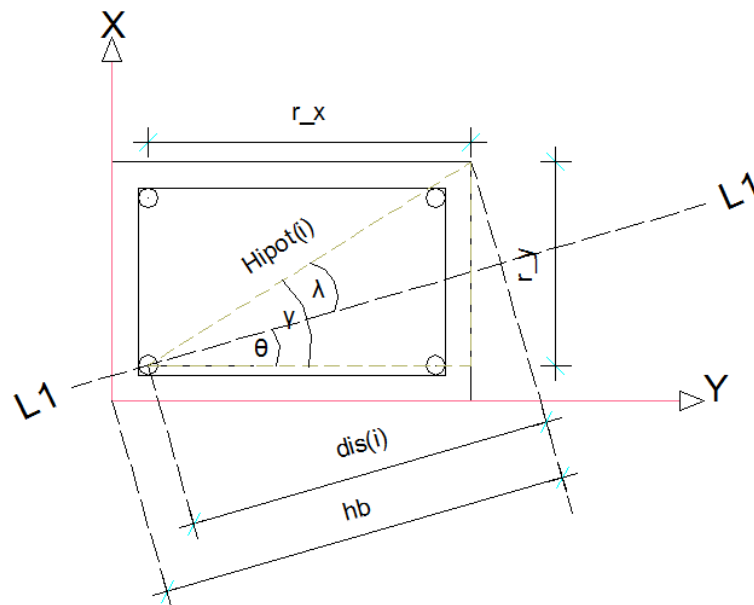


Figura 29.- Distancia efectiva desde la cara más comprimida al centroide de cada varilla

Dónde:

$\theta$  = ángulo formado entre excentricidades **ex** e **ey**.

$\gamma$  = ángulo formado entre coordenadas de cada varilla.

$\lambda$  = diferencia de los dos ángulos anteriores, puede ser positivo o negativo razón por la que en los cálculos se utiliza como valor absoluto.

**Hipot (i):** resultante entre coordenadas.

**Dis (i):** distancia efectiva para diseño.

Es necesario entender que de aquí en adelante todos los resultados que se obtengan estarán relacionados con el ángulo ( $\theta$ ).

- El programa internamente procede a calcular las distancias desde el eje neutro hasta el centroide de cada varilla, se identifica como: **r\_en** , y se obtiene de la siguiente forma:

$$X(i) = r_{en}(i)$$

$$r_{en}(i) = r_{c\_sup} - r_{dis}(i)$$

Se asume un primer valor de **r\_c\_sup** =  $3 \cdot h_b$ , con el objetivo de determinar el primer punto del diagrama de interacción conocido como: **Po**.

- A continuación determina los brazos de palanca de cada varilla con respecto al centro de gravedad de la sección con la siguiente forma:

$$Z(i) = r_{cg}(i)$$

$$r_{cg}(i) = (r_{hb} / 2) - r_{dis}(i)$$

Todos estos valores calculados en este procedimiento son almacenados internamente y se los utiliza para el siguiente procedimiento que es: Calculo Puntos.

### 3.2.5 PROCEDIMIENTO: **Calculo Puntos**

En este procedimiento se calcula las capacidades de carga y momento para los diferentes valores de C que adopta el programa, es decir se determina la carga axial y momento flector para un determinado % de refuerzo.

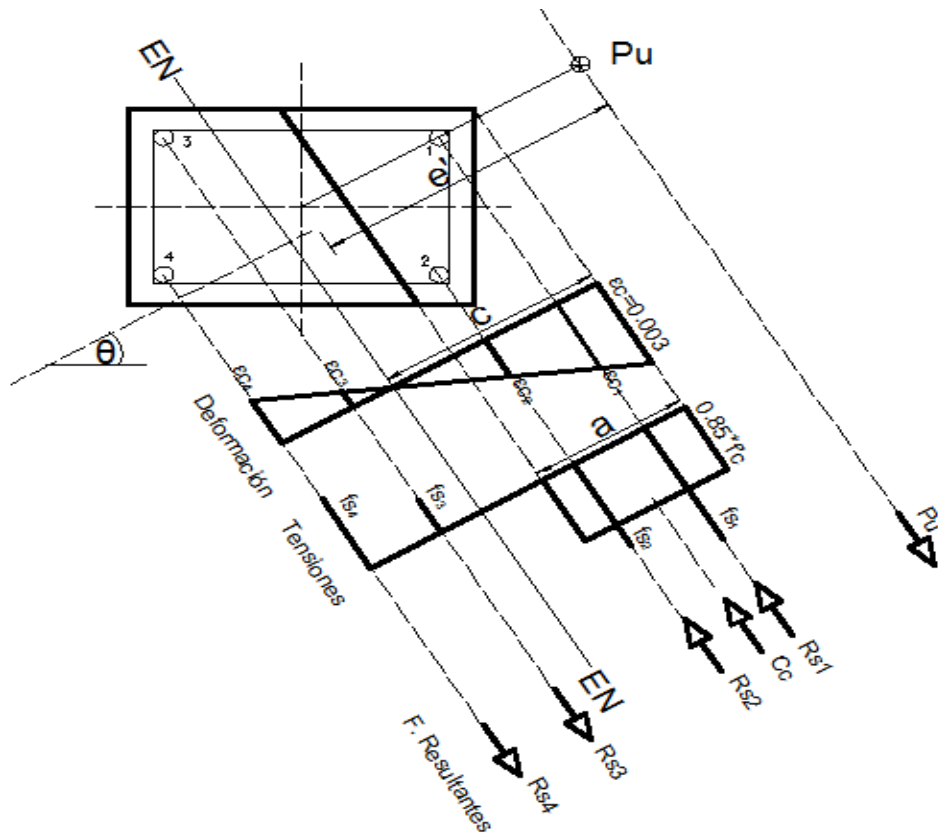


Figura 30.- Diagrama de fuerzas resultantes

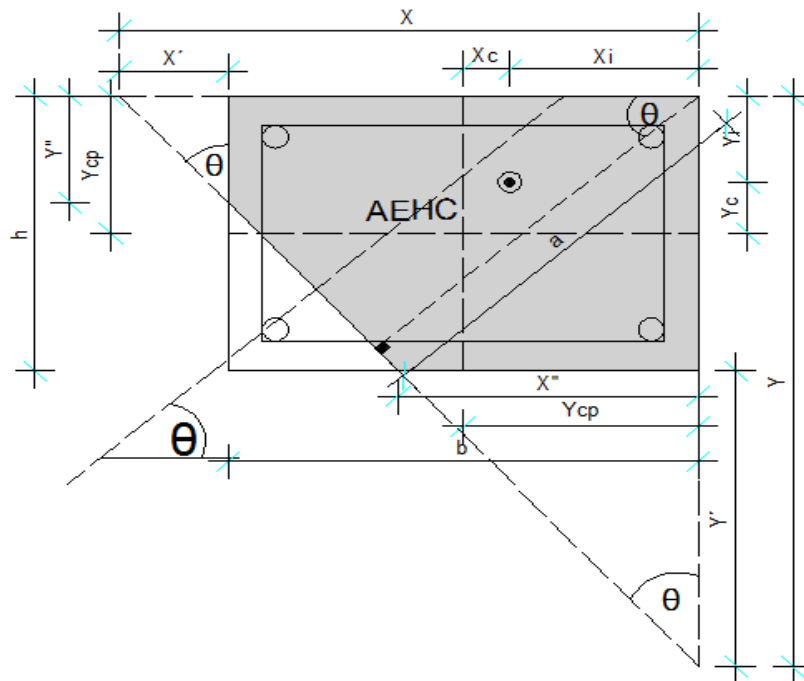


Figura 31.- Área equivalente de hormigón comprimido de un polígono cualquiera

Aquí se generan tres lazos: el primero hace referencia al porcentaje de refuerzo, el segundo relaciona los distintos valores que toma “C” hasta llegar al último valor determinado, y el tercero está relacionado con el número total de varillas.

- Determina las deformaciones que experimenta el acero de refuerzo mediante la siguiente expresión:

$$r_{cte} = v_{ec} / c$$

$$r_{es(i)} = r_{cte} * X(i)$$

- Determinación de las tensiones que actúa en cada una de las varillas:

$$r_{Ey} = v_{fy} / v_{mes}$$

$$\text{Si } \epsilon s(i) \leq E_y \quad f_s(i) = E_s * \epsilon s$$

$$\text{Si } \epsilon s(i) > E_y \quad f_s(i) = f_y$$

- Cálculo del AEHC (área equivalente de hormigón comprimido) de cualquier sección, puesto que cambia de acuerdo al ángulo de rotación  $\theta$ , también se obtiene las coordenadas del centroide de gravedad del AEHC (  $X_c$ ,  $Y_c$  ), en la figura 31 se representa el caso más general de los que se pueden presentar al momento de calcular el área en compresión, los otros casos son solamente una variante de este caso.

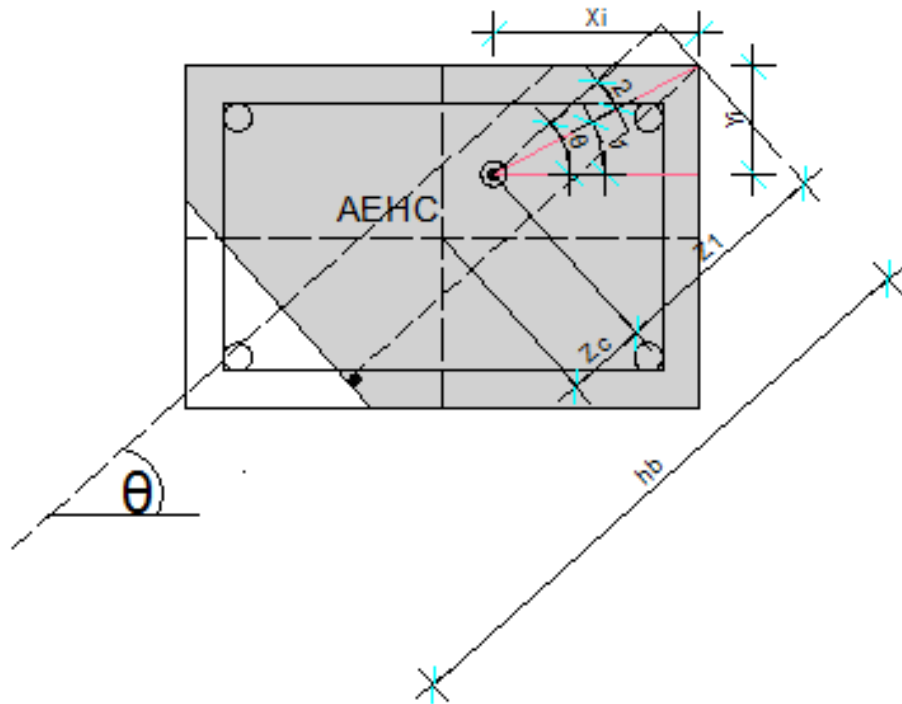


Figura 32.- Brazo de palanca del AEHC

$$r_{hp} = \text{Sqr}(r_{x1}^2 + r_{y1}^2)$$

$$r_{ang} = (\text{Atn}(r_{y1} / r_{x1}))$$

$$r_{ang2} = \text{Abs}(r_{ang} - r_{teta})$$

$$r_{z1} = r_{hp} * \text{Cos}(r_{ang2})$$

$$r_{zc} = (r_{hb} / 2) - r_{z1}$$

Dónde:

$\theta$  = ángulo formado entre excentricidades  $e_x$  e  $e_y$ .

**1** = ángulo formado entre las coordenadas del centroide del AEHC con respecto al centro geométrico de la sección.

**2** = diferencia de los dos ángulos anteriores, puede ser positivo o negativo razón por la que en los cálculos se utiliza como valor absoluto.

**Hipot** = es la resultante entre coordenadas

**Zc** = brazo de palanca del AEHC con respecto al centro de gravedad de la sección.

- Obtiene las fuerzas resultantes en cada varilla:

$$r_{ag} = v_b * v_h$$

$$r_{as} = (r_{ag} * (mpr / 100)) / tot\_varillas$$

$$r_{Res} = r_{as} * v_{fs}$$

$$r_{cc} = 0.85 * v_{fc} * r_{AEHC}$$

- Calcula el momento resistente que genera tanto el acero como el hormigón en compresión respecto del centro de gravedad de la sección:

$$r_{mres} = r_{Res} * r_{cg}$$

$$r_{Mcc} = r_{cc} * r_{zc}$$

- Calculo del factor de reducción de resistencia ( $\Phi$ ), este valor varía de acuerdo con la deformación del acero más traccionado, este valor debe estar dentro de ciertos límites que se representan en la figura 32.

```

If r_es1 >= -0.002 Then
r_fi = 0.65
Else
If r_es1 <= -0.005 Then
r_fi = 0.9
Else
r_fi = 0.65 + (Abs(r_es1) - 0.002) * (250 / 3)
End If
End If

```

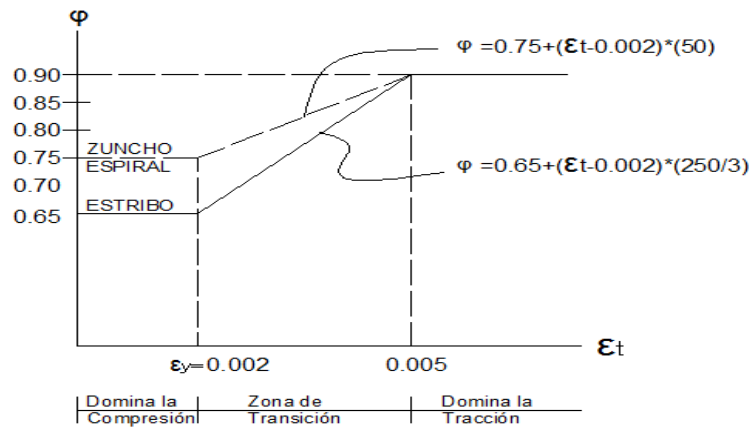


Figura 33.- Factor de reducción de resistencia  $\Phi$

- Realiza la sumatoria de fuerzas resultantes y momentos resultantes y a estos valores se multiplica por el factor de reducción de resistencia, con estos valores se procede a graficar los diagramas de interacción para diferentes porcentajes de refuerzo establecidos en la NEC-11 y ACI 318S-11.

Finalmente se obtiene varios puntos que definen el diagrama de interacción para diferentes porcentajes de refuerzo desde el 1% al 3%.

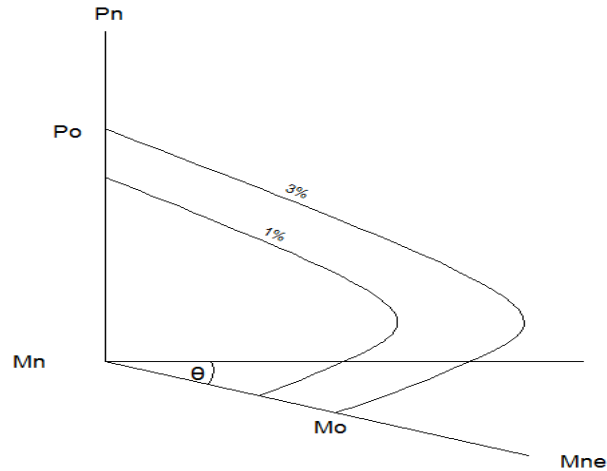


Figura 34.-Diagrama de interacción para diferentes % de refuerzo

### 3.2.6 PROCEDIMIENTO: **Puntos Notables**

Aquí se procede a determinar por así decirlo los puntos más importantes de los diagramas de interacción, que para ello se utilizara el Procedimiento **Calculo Puntos**, y se fundamenta en los siguientes criterios.

- **Calculo de Po**

El valor de Po representa la resistencia nominal a carga axial pura; en la figura 35 se observa el diagrama de fuerzas resultantes, mediante estas fuerzas se llega a determinar la resistencia nominal de una columna cargada axialmente de la siguiente forma:





$$Cb = d \left( \frac{6300}{6300 + fy} \right)$$

$$d = hb - Dis(i)_{menor}$$

Con el valor de **Cb** procede a llamar al procedimiento **Calcula Punto** y el resultado de este proceso es: Pb y Mb.

- **Calculo (Mo)**

El momento flexionante puro (Mo) se obtiene cuando la resistencia a carga axial Po sea igual a cero.

Para este cálculo es necesario aplicar métodos matemáticos aproximados, en esta ocasión se aplicara el método de la bisección, estableciendo como Csup = Cb y Cinf = dme y se obtiene el valor de C propiamente con la expresión:

$C = \frac{C_{sup} + C_{inf}}{2}$ , se llama al procedimiento **Calcula Punto**, después de una serie de cálculos el valor de Pn que se obtiene es casi igual a cero, entonces en ese instante Mn= Mo.

Con estos resultados ya se tiene perfectamente definidos todos los puntos del diagrama de interacción.

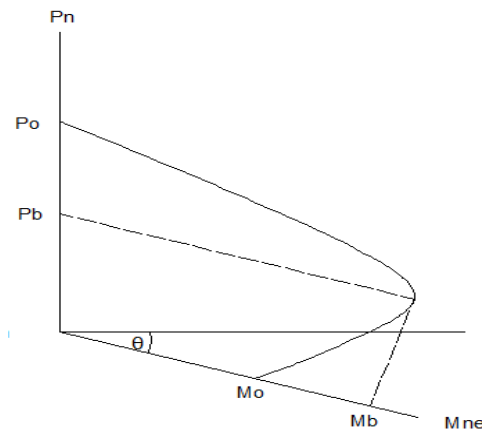


Figura 36.-Puntos notables del diagrama de interacción

### 3.2.7 PROCEDIMIENTO: Carga Máxima de Diseño.

La resistencia de diseño útil de una columna cargada axialmente debe determinarse en base a la ecuación de Po con la introducción de coeficientes de reducción de resistencia. Los coeficientes del ACI son menores para columnas que para vigas; esto refleja la mayor importancia de las columnas en una estructura. En general, la falla de una viga afectara solamente una región de la estructura, mientras que la falla de una columna puede generar el colapso de la estructura completa. Para columnas

reforzadas en espiral se utiliza un coeficiente básico  $\phi = 0.75$  y para aquellos con estribos  $\phi = 0.65$ , en comparación con el valor de  $\phi = 0.90$  para vigas.

El código ACI 318-11 establece una limitación adicional en la resistencia de las columnas con el fin de compensar excentricidades accidentales de carga no tratadas en el análisis con la determinación de un límite superior en la capacidad, menor que la resistencia calculada de diseño. Este límite superior se toma igual a 0.85 veces la resistencia de diseño para columnas reforzadas en espiral y 0.80 veces la resistencia calculada para las columnas con estribos.

$$\phi P_{n_{\max}} = 0.80 \phi P_o$$

$$\phi P_{n_{\max}} = 0.80 \phi [0.85 f'_c (A_g) + A_s f_y] \text{ Para columnas con estribos}$$

### 3.2.8 PROCEDIMIENTO: Almacenamiento de Resultados.

En este paso el programa almacena todos los datos como son:  $P_o$ ,  $M_o$ ,  $P_b$ ,  $M_b$ ,  $P_{n_{\max}}$ , estos datos son los que definen los puntos del diagrama de interacción.

### 3.2.9 PROCEDIMIENTO Grafico.

Finalmente con todos los puntos que definen la curva del diagrama de interacción procede a dibujar cada una de las curvas para diferente porcentaje de refuerzo, obteniendo un gráfico similar al de la figura 37.

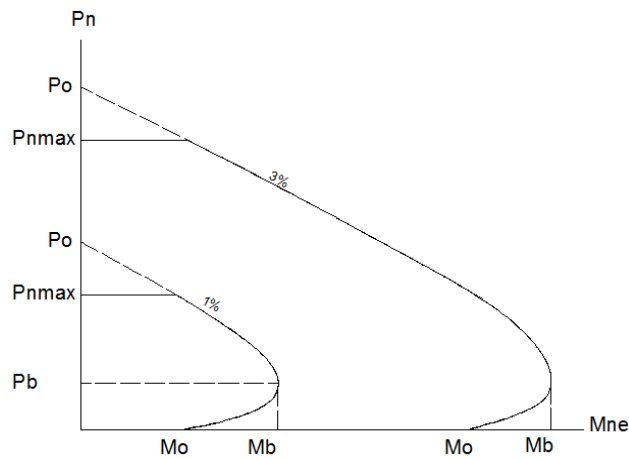
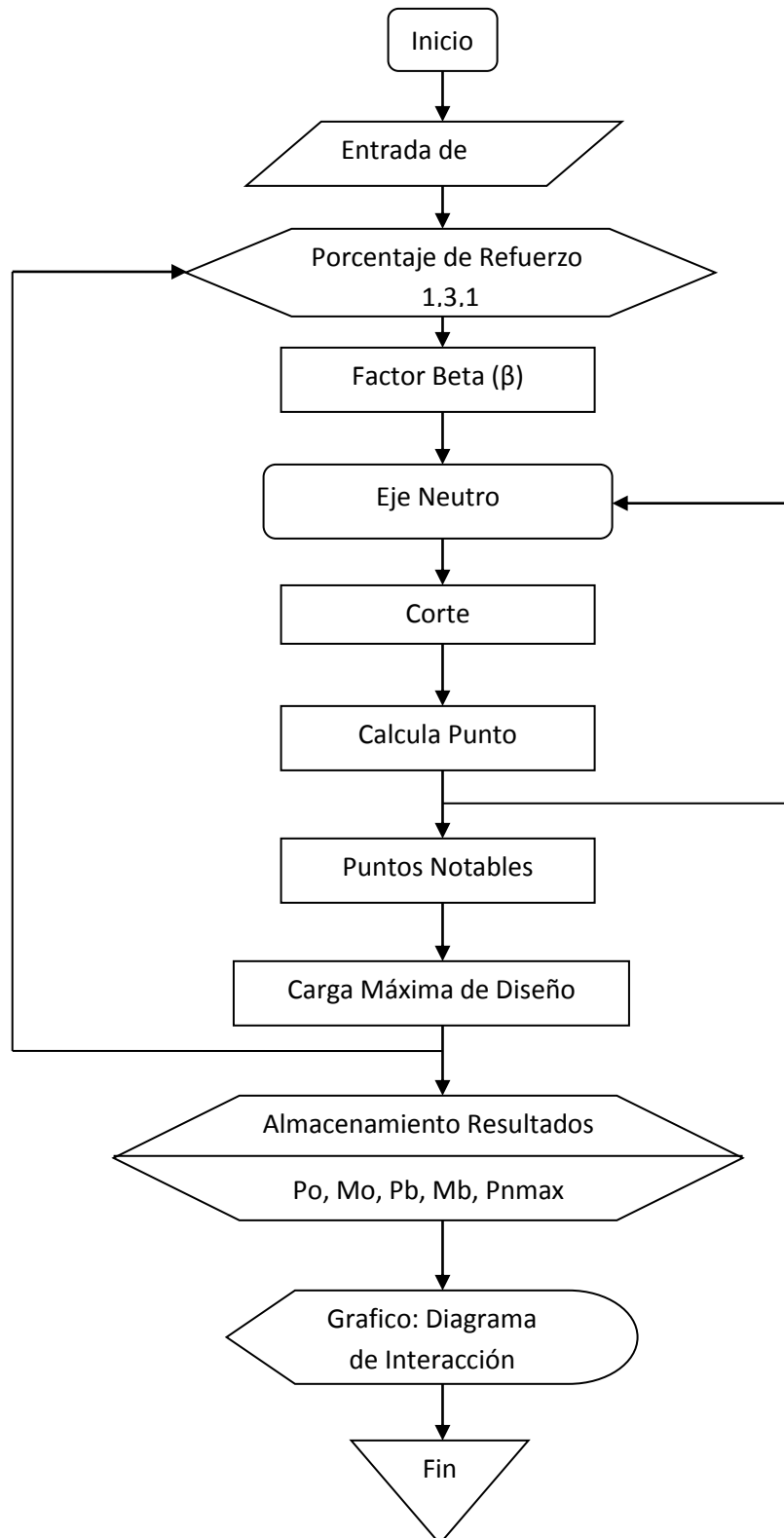


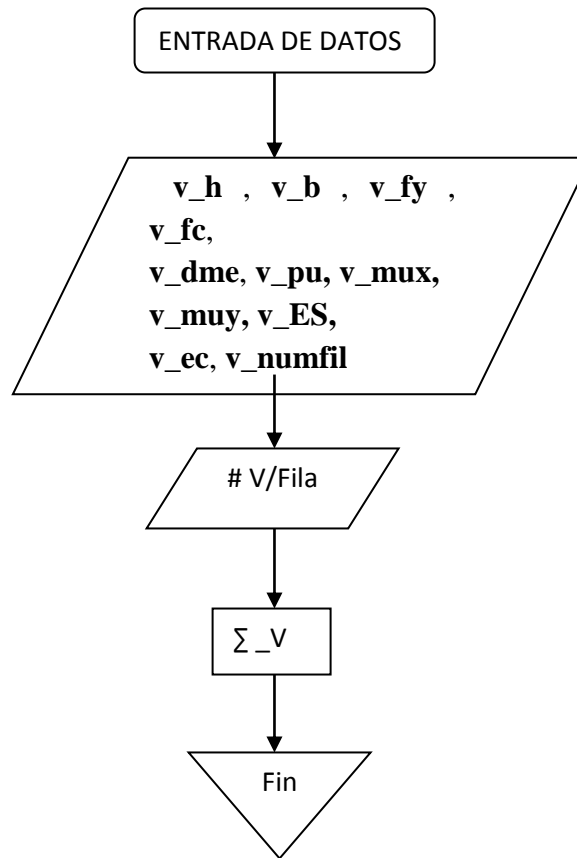
Figura 37.-Puntos notables del diagrama de interacción

Todo lo expresado anteriormente en lo que se refiere a los diagramas de interacción se puede representar mediante diagramas de flujo.

### 3.2.10 DIAGRAMA DE FLUJO

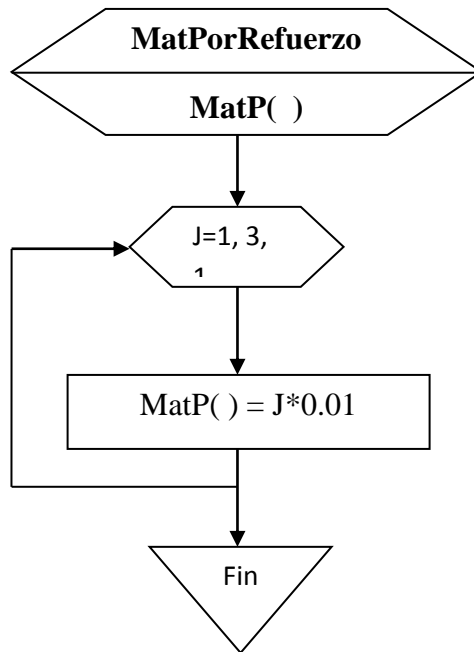
El programa está estructurado principalmente de la siguiente forma:





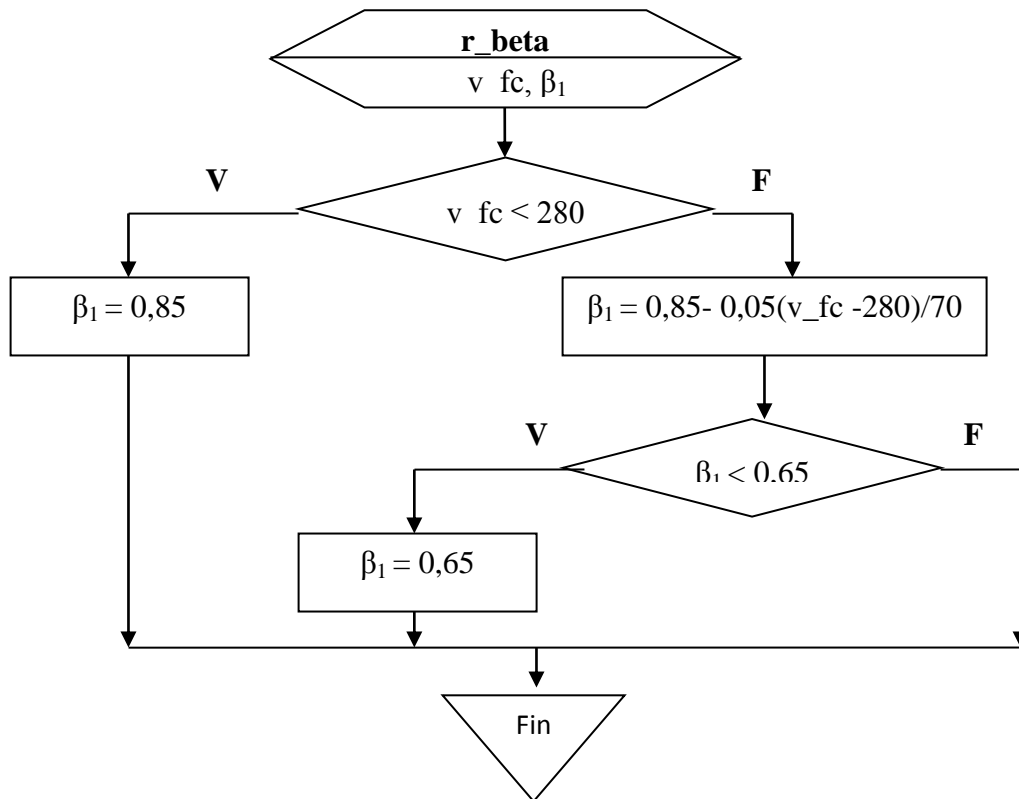
Variables utilizadas:

$v_h$  = alto de la columna  
 $v_b$  = base de la columna  
 $v_{fy}$  = resistencia a la fluencia del acero  
 $v_{fc}$  = resistencia a la compresión del hormigón  
 $v_{dme}$  = distancia desde la cara de la columna hasta el centroide del refuerzo  
 $v_{pu}$  = carga ultima factorizada  
 $v_{mux}$  = momento último que gira alrededor del eje x-x  
 $v_{muy}$  = momento último que gira alrededor del eje y-y  
 $v_{mes}$  = módulo de elasticidad del acero de refuerzo  
 $v_{ec}$  = deformación utilizable del hormigón a compresión  
 $v_{numfil}$  = número de filas de varillas paralelas al eje x-x.  
**# V/Fila** = número de varillas por fila.  
 $\Sigma_V$  = número total de varillas ingresado



**Variables utilizadas:**

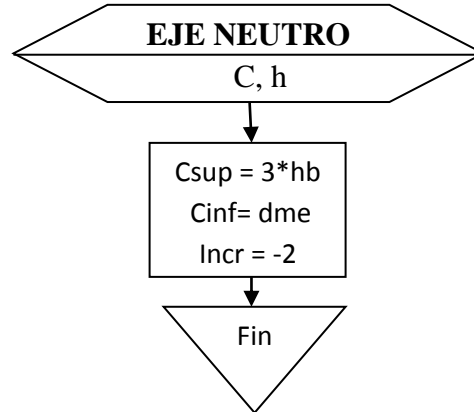
**Mat( )** = Matriz de porcentaje de refuerzo mínimo y máximo con incrementos de 0.01 con los que el programa desarrollara los diagramas de interacción.



**Variables utilizadas:**

**r\_beta** = factor que define la profundidad del bloque de hormigón comprimido.

**v\_fc** = resistencia a la compresión del hormigón.

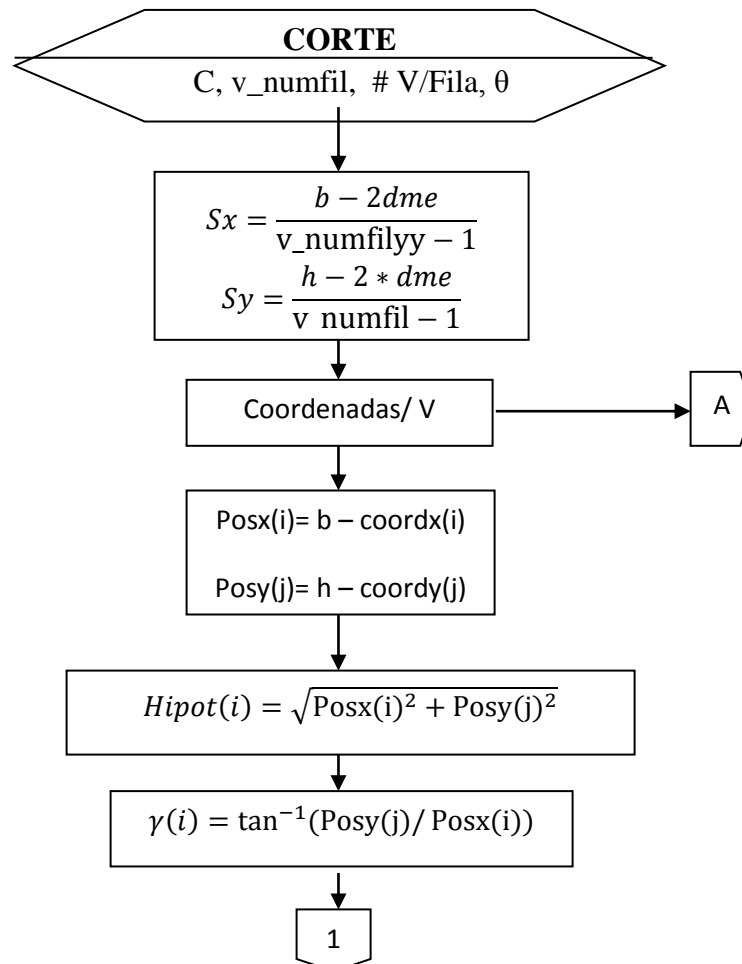


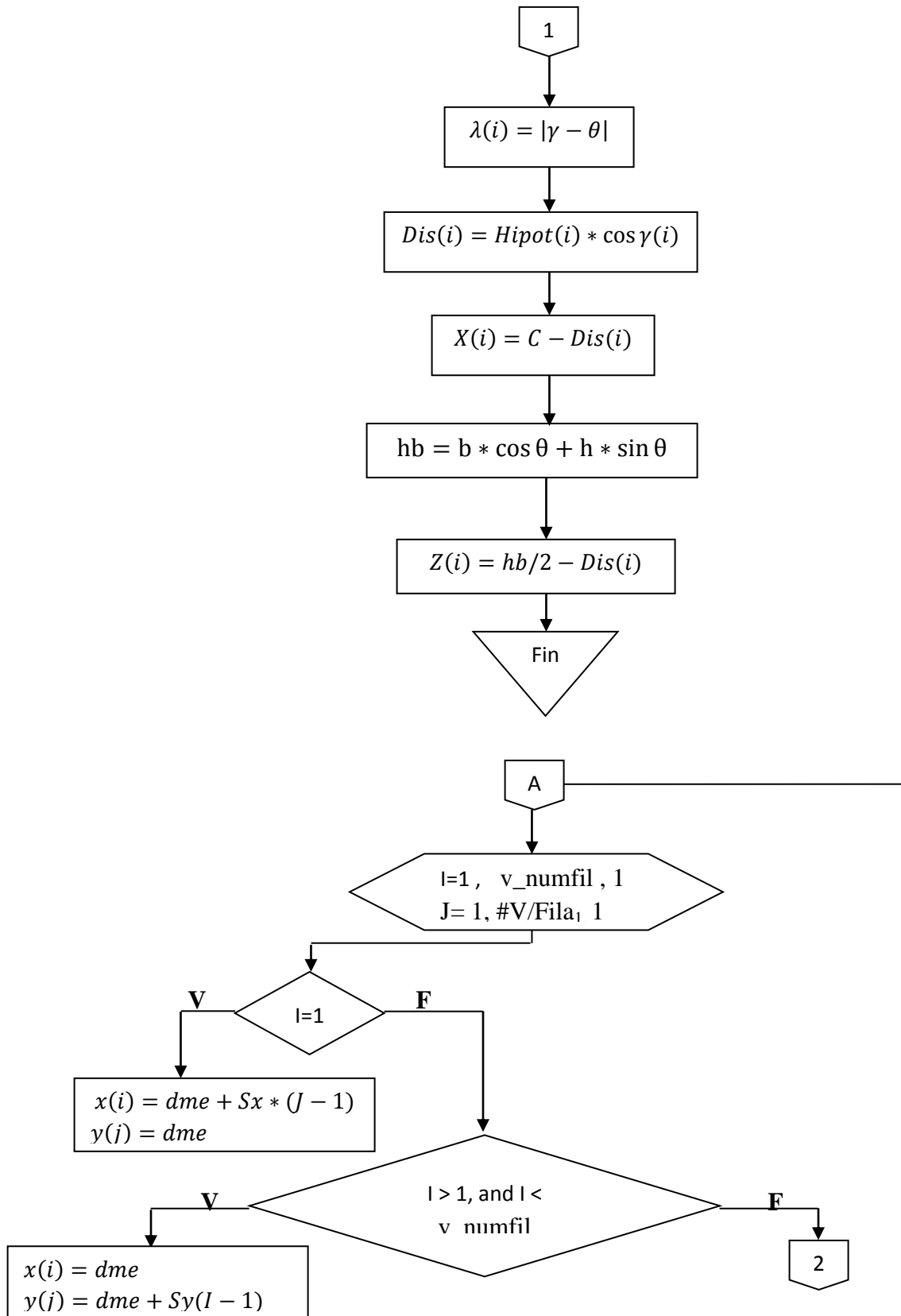
**Variables utilizadas:**

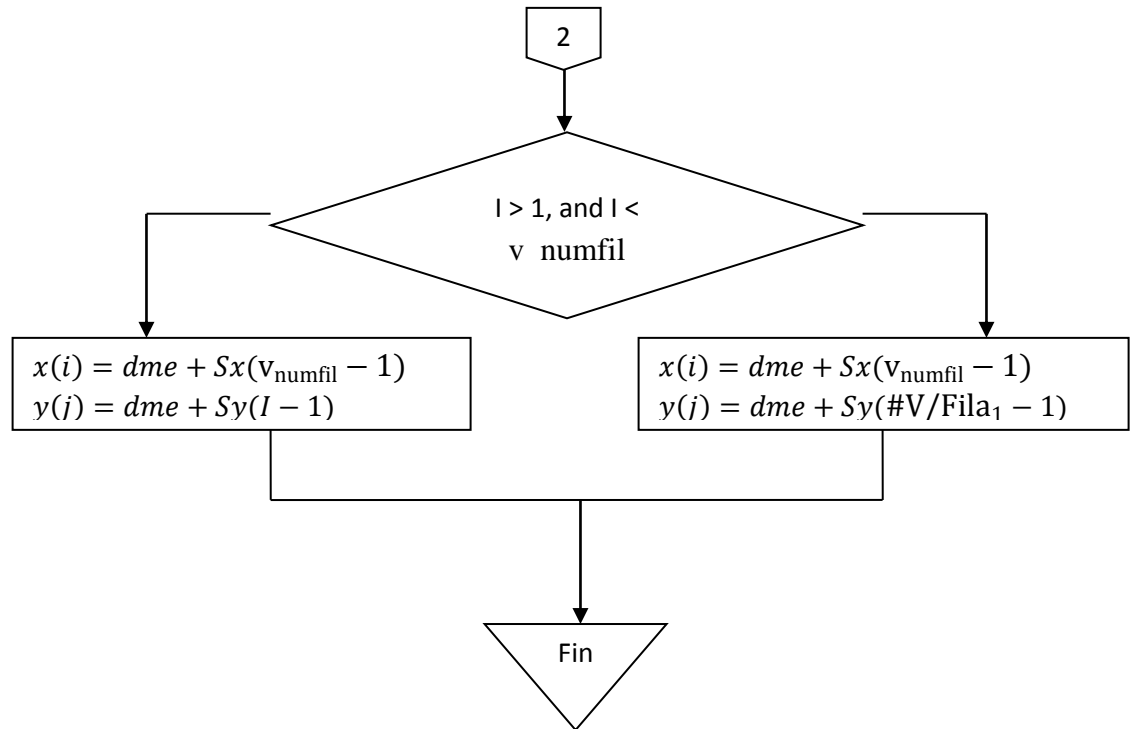
**Csup** = primer valor asumido del eje neutro para definir un punto del diagrama.

**Cinf** = ultimo valor del eje neutro con el que se define el último punto del diagrama.

**Incr** = incremento de “c” para obtener todos los puntos del diagrama.







**Variables utilizadas:**

$S_x$ : distancia entre varillas en el eje x-x

$S_y$ : distancia entre varillas en el eje y-y

$x(i)$ ,  $y(i)$ : coordenadas de cada varilla desde el vértice inferior izquierdo.

$Posx(i)$ ,  $Posy(i)$ : coordenadas de cada varilla desde el vértice superior derecho.

$Dis(i)$ : Son las distancias desde la fibra más comprimida al centroide de cada varilla.

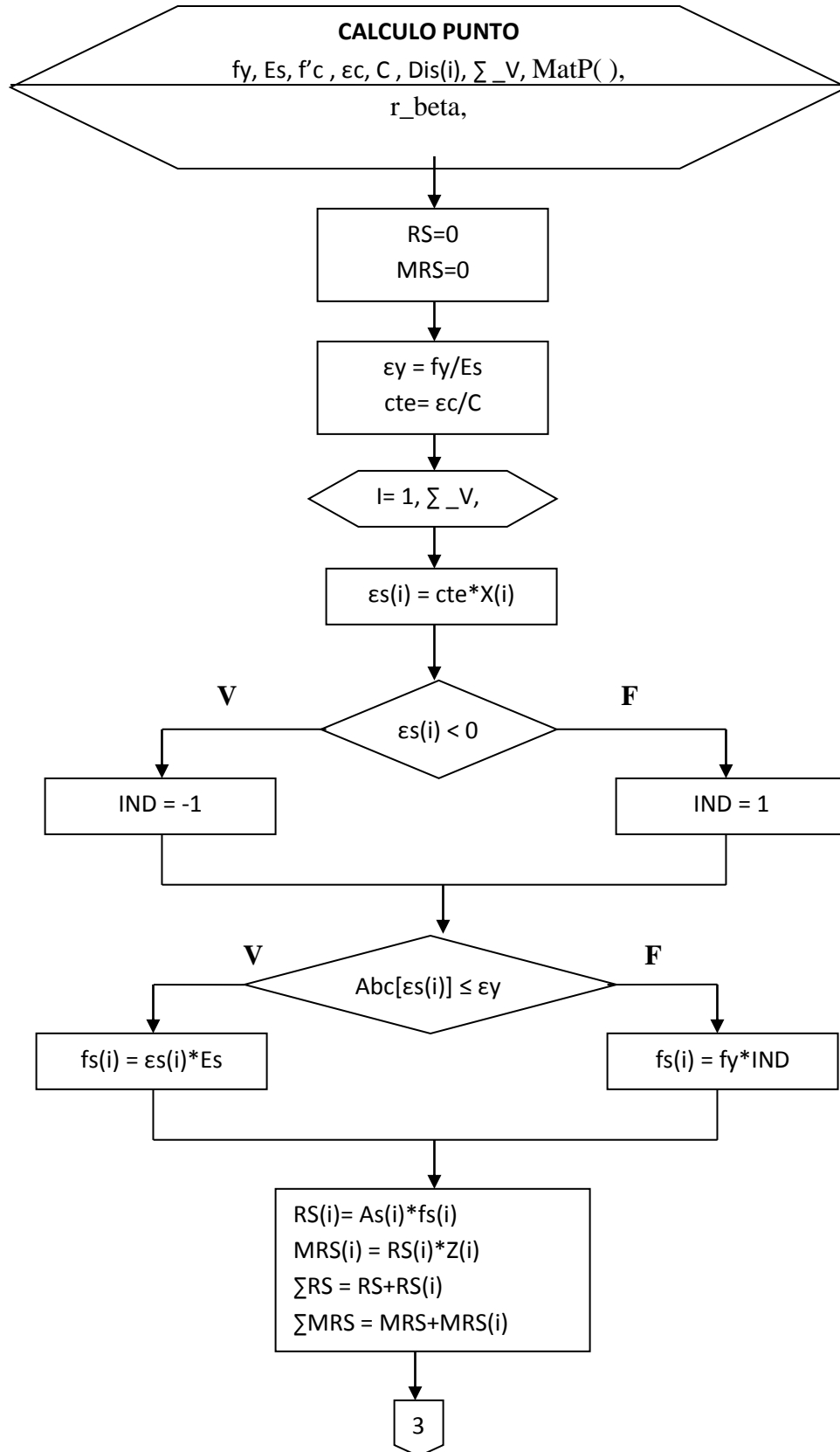
$X(i)$ : Son las distancias desde el eje neutro de la sección al centroide de cada varilla.

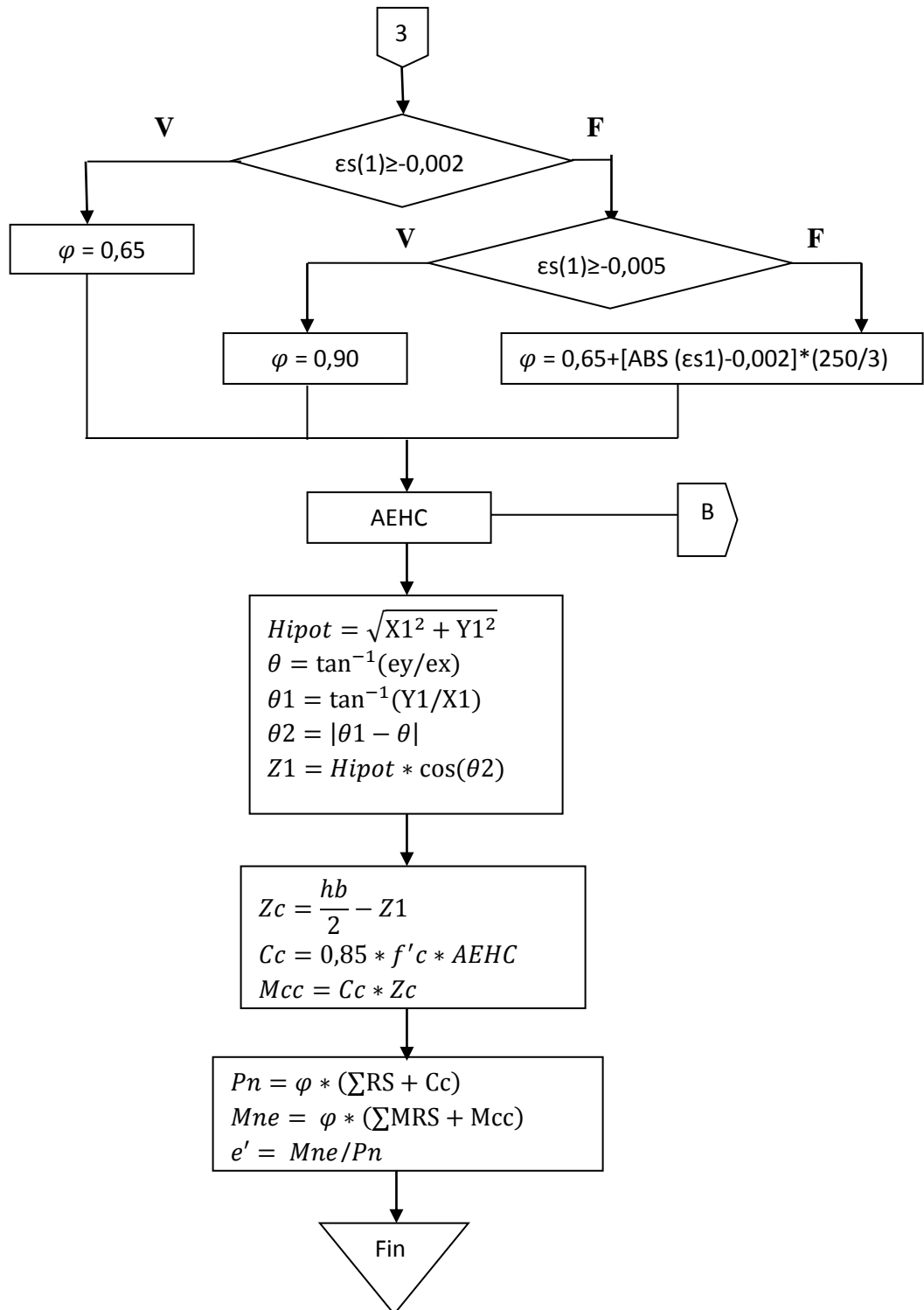
$Z(i)$ : Son los brazos de palanca desde el centro de gravedad de la sección al centroide de cada varilla.

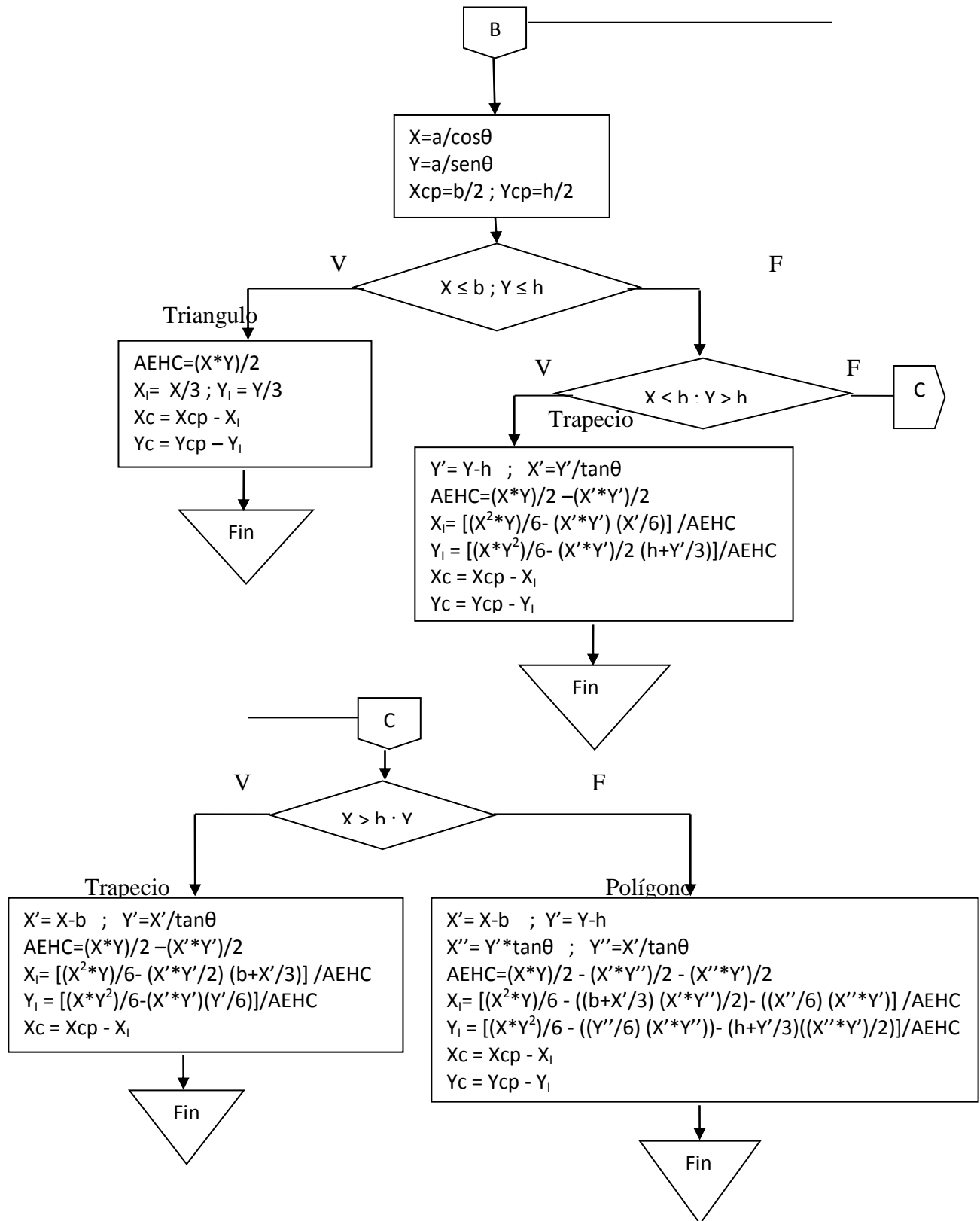
$\theta$  : ángulo formado por las excentricidades

$Hipot(i)$ ,  $\gamma(i)$ ,  $\lambda(i)$ : variables auxiliares.









### **Variables utilizadas:**

$\epsilon_y$  : máxima deformación del acero.

**cte**: constante que relaciona la deformación máxima del hormigón con el eje neutro.

$\sum V$ : número total de varillas en la columna.

$\epsilon_s(i)$ : deformación del acero traccionado.

$f_s(i)$ : fuerza de tensión en el acero.

$R_s(i)$ : fuerza resultante .

$M_{RS}(i)$ : momento resistente generado en el acero

$\epsilon_{s(1)}$ : deformación del acero más traccionado.

**$\Phi$** : factor de reducción de resistencia.

**AEHC**: área equivalente de hormigón comprimido.

**Xc, Yc**: coordenadas desde el centro de gravedad de la sección al centroide del AEHC.

**Hipot**: resultante de las coordenadas del AEHC.

**$\theta$**  : ángulo formado entre las excentricidades  $e_x$  e  $e_y$ .

**$\theta_1$** : ángulo formado entre las coordenadas del AEHC.

**$\theta_2$** : ángulo necesario para calcular  $Z_c$

**Zc**: brazo de palanca del AEHC con respecto al centro de gravedad de la sección.

**Cc**: fuerza de compresión generada en la sección transversal de hormigón.

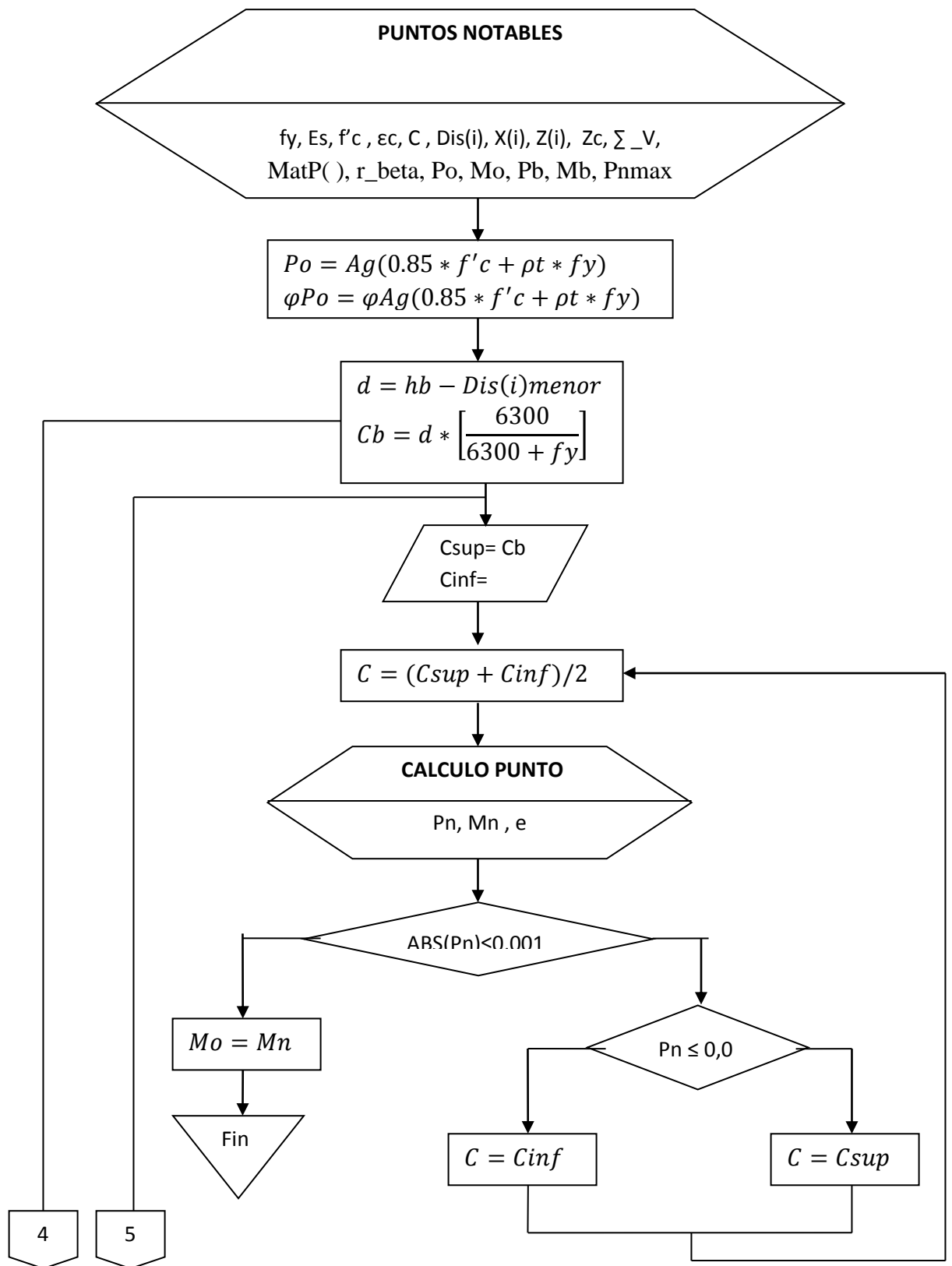
**Mcc**: momento resistente del hormigón.

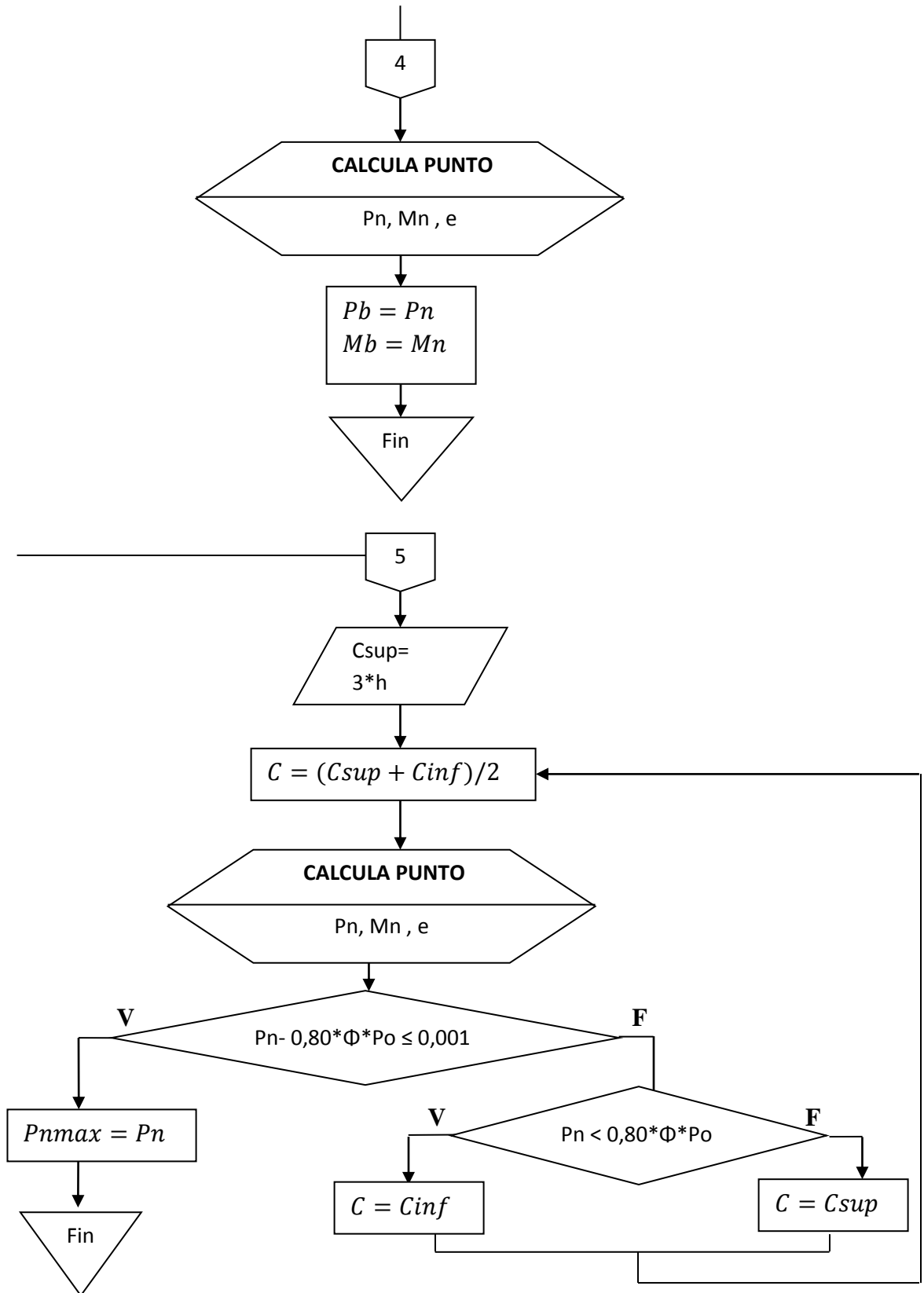
**X, Y**: variables auxiliares que definen el AEHC incluyendo las áreas ficticias.

**Xcp, Ycp**: coordenadas globales del C.G de la sección transversal.

**X', X'', Y', Y''**: variables auxiliares que definen las áreas ficticias de la sección de hormigón.

**X<sub>I</sub>, Y<sub>I</sub>**: coordenadas locales del centroide del AEHC.





### Variables utilizadas:

**Po:** Carga axial nominal a compresión pura.

**Mo:** Momento flexionante puro cuando Po=0.

**Pb:** Carga axial Balanceada.

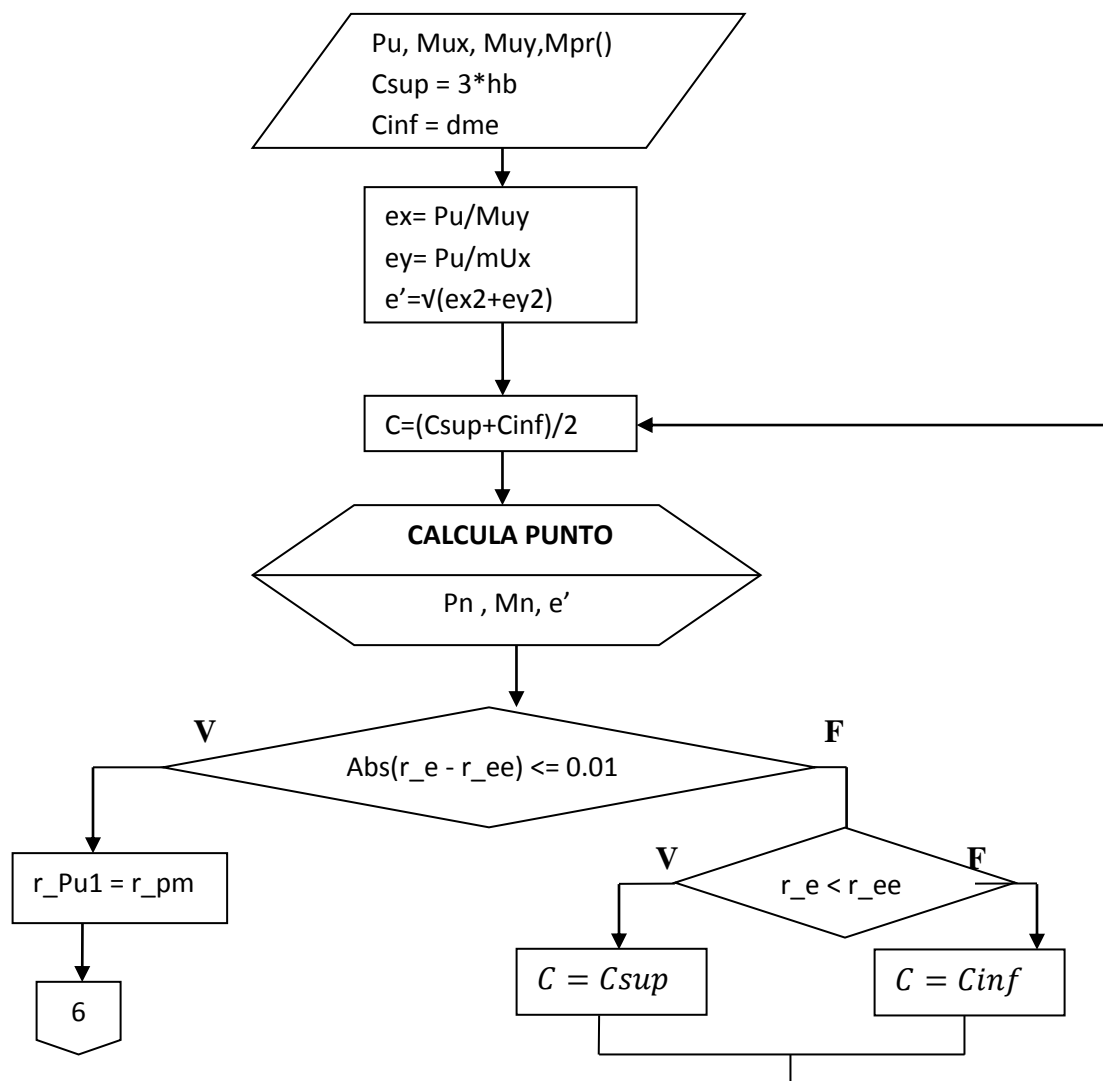
**Mb:** Momento flexionante balanceado.

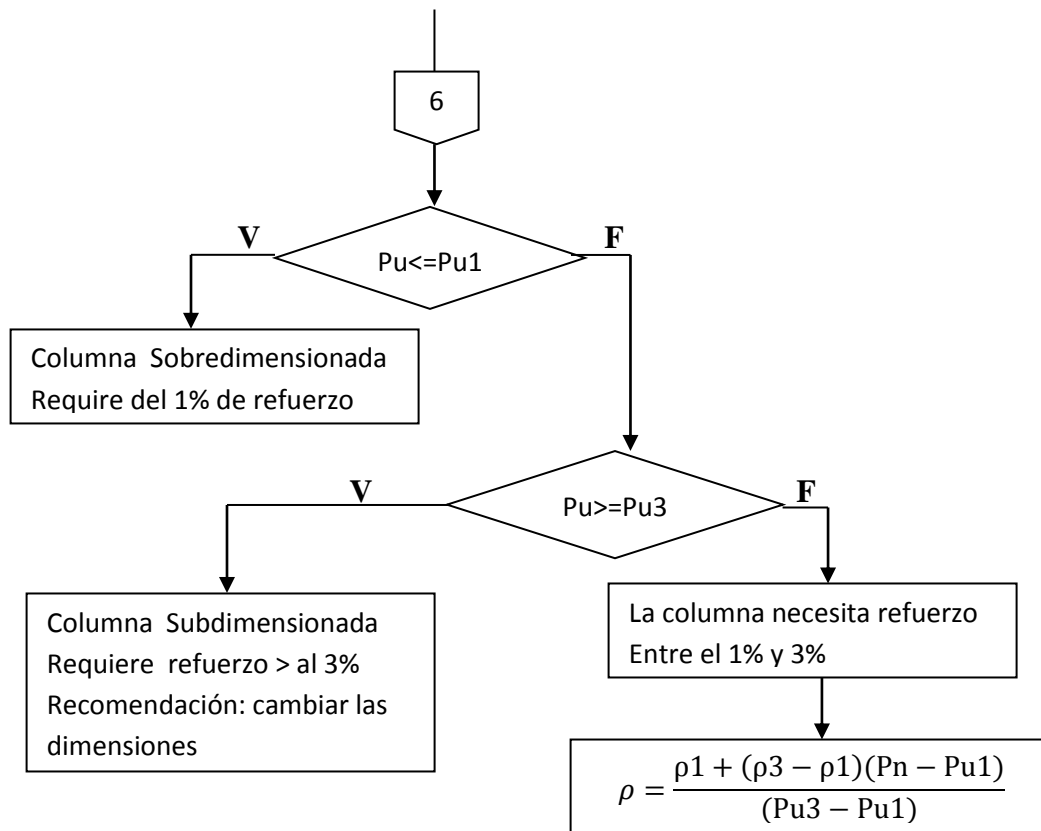
**Pnmax:** Carga axial máxima para diseño.

**Cb:** Posición del eje neutro balanceado.

**Csup, Cinf:** Valores límites para aplicar el método de la bisección.

Todo el proceso desarrollado hasta este momento se complementa con el siguiente procedimiento que lo utilizaremos propiamente para el diseño de columnas con sollicitación biaxial y armadura simétrica en las dos caras o cuatro caras.





### Variables utilizadas:

**Pu:** Carga ultima \_ dato

**Mux:** Momento último en x-x

**Muy:** Momento último en y-y

**Mpr:** porcentaje de refuerzo

**e':** excentricidad equivalente

**e:** excentricidad obtenida de la relación( r\_mn / r\_pm)

**r\_Pu1:** Carga ultima para porcentaje de 1%

**r\_Pu3:** Carga ultima para porcentaje de 3%

**r\_pm:** Carga ultima para porcentaje buscado

**$\rho$  1:** porcentaje de refuerzo para el 1%

**$\rho$  3:** porcentaje de refuerzo para el 3%

**$\rho$  :** Porcentaje de refuerzo buscado

**Csup, Cinf:** Valores límites para aplicar el método de la bisección.



Todo el diagrama de flujo desarrollado hasta aquí se utiliza para el diseño de columnas con solicitación biaxial.

### Comprobación del diseño.

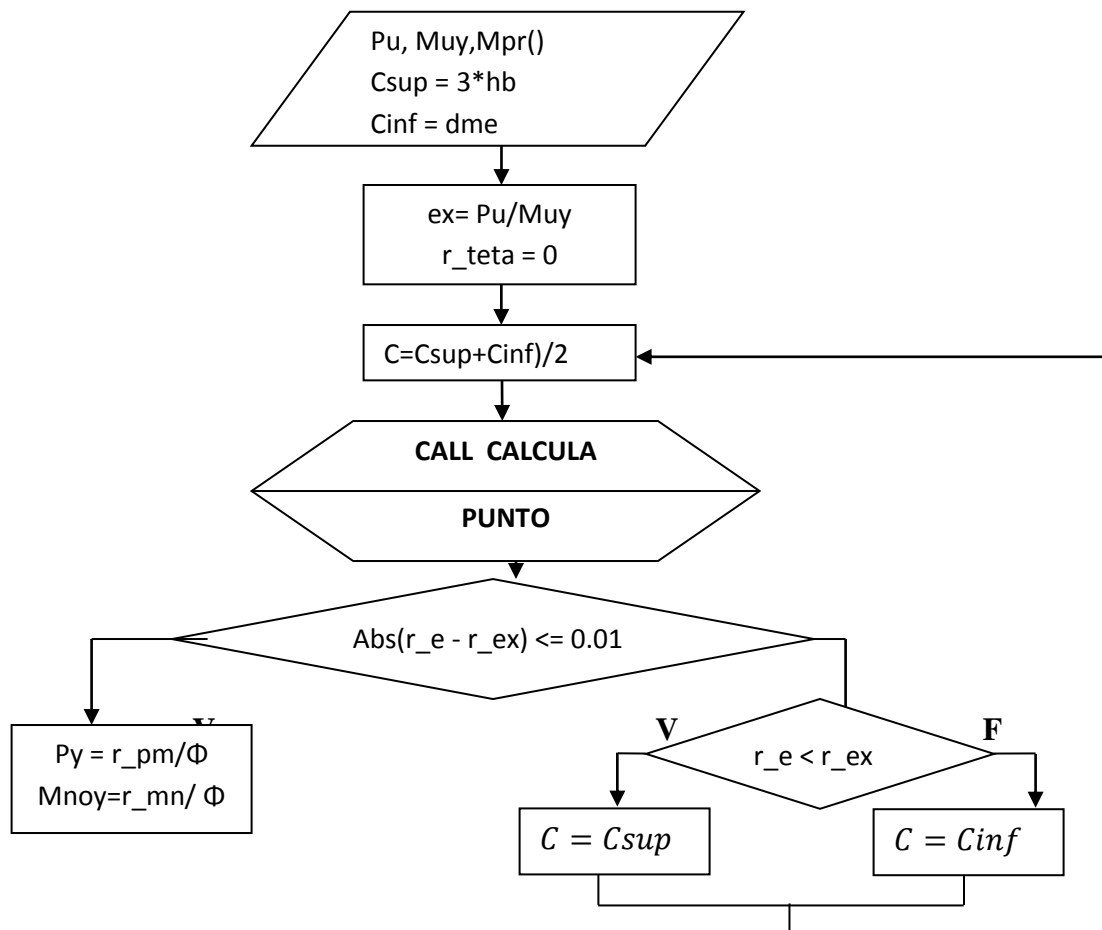
Para realizar la comprobación del diseño se utilizara las formulas desarrolladas por BRESLER:

$$\frac{1}{P_y} + \frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o} \approx \frac{1}{P_n} ; \text{Ecuación de la Carga Reciproca de Bresler}$$

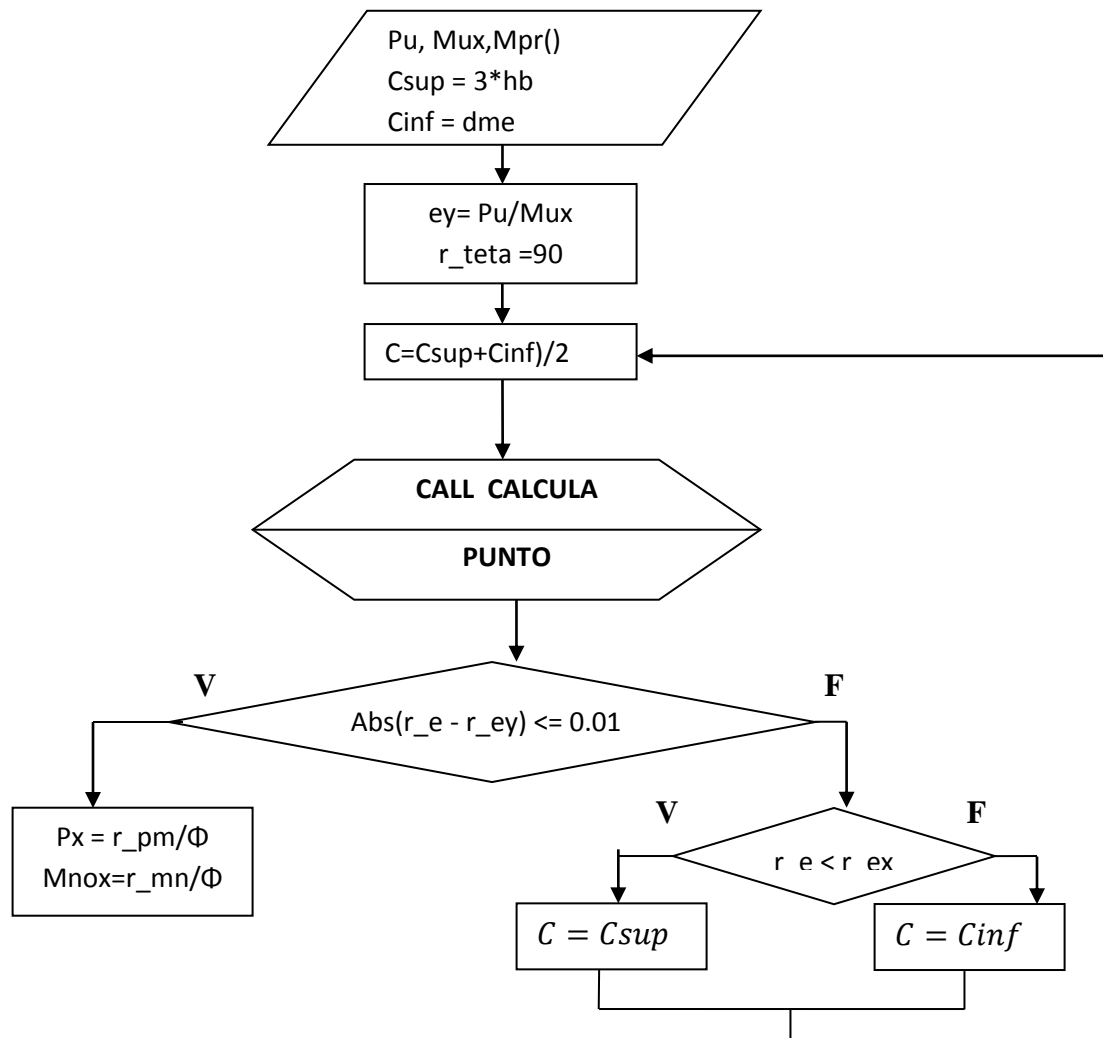
$$\frac{M_{ny}}{M_{noy}} + \frac{M_{nx}}{M_{nox}} = 1 ; \text{Ecuación del contorno de Carga de Bresler}$$

En función de estas dos ecuaciones se realizara la comprobación del diseño, para lo cual primero se determinan algunas variables necesarias para la comprobación.

#### a) Diagrama de flujo para determinar $P_y$ y $M_{noy}$ .



**b) Diagrama de flujo para determinar  $P_x$  y  $M_{nox}$ .**



**Variables utilizadas:**

**Pu:** Carga ultima \_ dato

**Mux:** Momento último en x-x

**Muy:** Momento último en y-y

**Mpr:** porcentaje de refuerzo

**ex:** excentricidad que relaciona (Pu/Muy)

**ey:** excentricidad que relaciona (Pu/Mux)

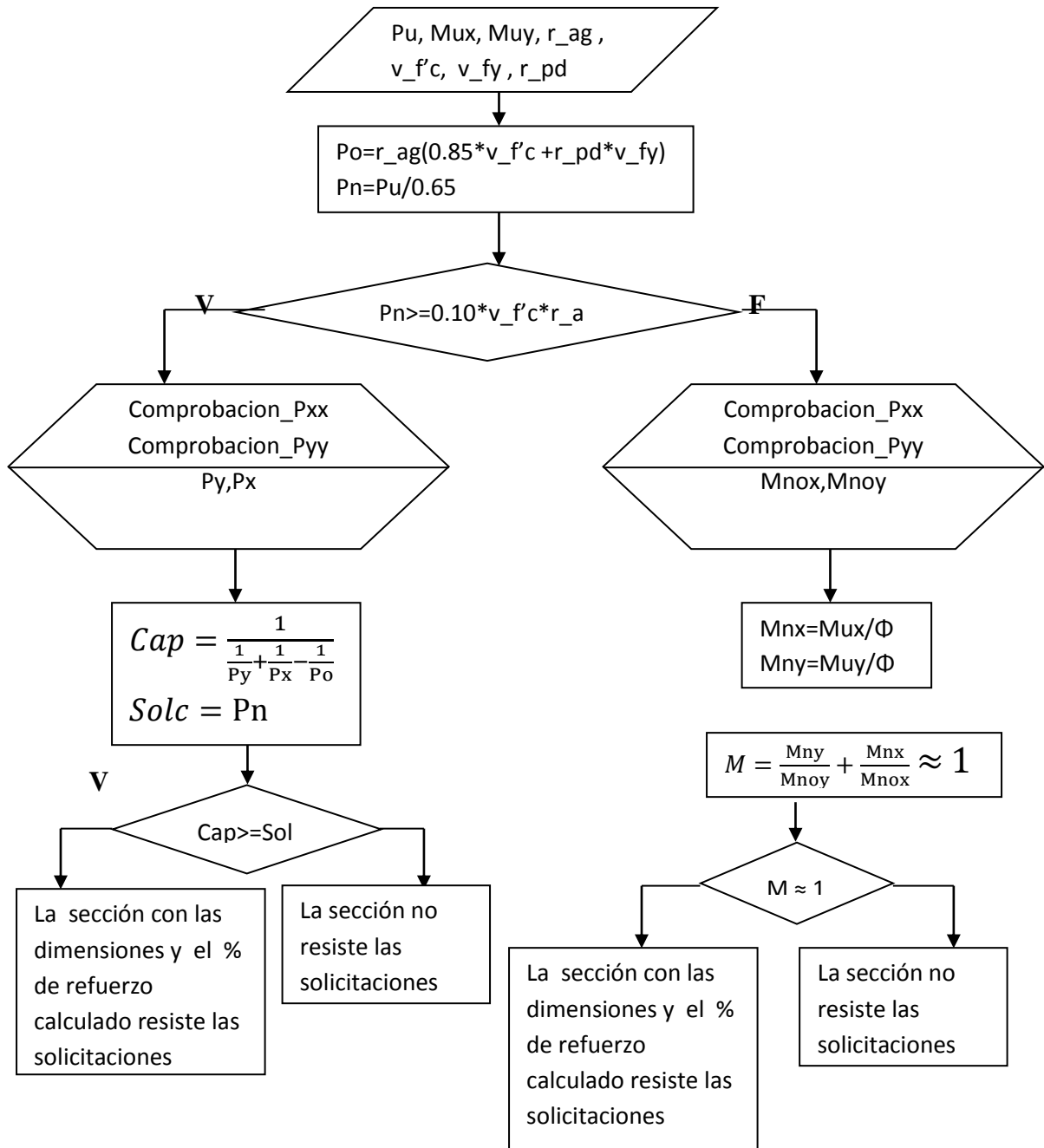
**e:** excentricidad obtenida de la relación(  $r_{mn} / r_{pm}$ )

**Csup, Cinf:** Valores límites para aplicar el método de la bisección.

**Px:** Carga axial para el eje de flexión (x-x)

**Py:** Carga axial para el eje de flexión (y-y)

**Diagrama de flujo para realizar la comprobación del diseño.**



**Variables utilizadas:**

**Pu:** Carga ultima

**r<sub>ag</sub>** : área total de hormigón de la sección

**v<sub>f'c</sub>**: Resistencia de diseño del hormigón

**v<sub>fy</sub>** : Resistencia de diseño del acero de refuerzo

**r<sub>pd</sub>** : porcentaje de refuerzo de diseño

**Px , Py:** carga axial respecto de los dos ejes

**Mux:** Momento último en el eje x-x

**Muy:** Momento último en el eje y-y

**Mnox:** Momento nominal en el eje x-x

**Muoy:** Momento nominal en el eje y-y

**Cap:** capacidad de la sección

**Solc:** solicitaciones

### 3.3 CODIFICACION DEL PROGRAMA PARA GENERAR LOS DIAGRAMAS DE INTERACCION DE COLUMNAS CON SOLICITACION BIAxIAL

#### 1) Public Function Proc\_r\_Beta()

Calcula el valor de la Variable Beta

```
Sheets("dat_usuario").Select
Range("D7").Select
v_fc = Range("D7")
If v_fc <= 280 Then
r_beta = 0.85
Else
r_beta = 0.85 - (0.05 * (v_fc - 280)) / 70
End If
If r_beta < 0.65 Then
r_beta = 0.65
End If
Range("r_beta").Select
ActiveCell.Value = (r_beta)
Proc_r_Beta = r_beta
End Function
```

#### 2) Corte Perpendicular al eje de flexión

##### 2.1) Public Function Dis\_varillas\_en\_XyY( )

Calcula las distancias entre varillas

```
Sheets("dat_usuario").Select
Range("v_h").Select
v_h = Range("v_h")
Range("tot_varillas").Select
tot_varillas = Range("tot_varillas")
Range("v_b").Select
v_b = Range("v_b")
Range("v_dme").Select
v_dme = Range("v_dme")
Range("v_numfil").Select
v_numfil = Range("v_numfil")
Range("v_numfilyy").Select
```

```
v_numfilyy = Range("v_numfilyy")
```

```
r_sx = (v_b - 2 * (v_dme)) / (v_numfilyy - 1)
```

```
r_sy = (v_h - 2 * (v_dme)) / (v_numfil - 1)
```

```
Sheets("dat_usuario").Select
```

```
Range("r_sx").Select
```

```
ActiveCell.Value = (r_sx)
```

```
Range("r_sy").Select
```

```
ActiveCell.Value = (r_sy)
```

```
End Function
```

## 2.2) Public Function MAT\_COORD\_CA\_VAR( )

Coordenadas de cada varilla con respecto al vértice inferior izquierdo.

```
For i = 1 To v_numfil
```

```
For j = 1 To v_f4
```

```
If i = 1 Then
```

```
v_x = v_dme + (r_sx * (j - 1))
```

```
v_y = v_dme
```

```
End If
```

```
If i > 1 And i < v_numfil And j = 1 Then
```

```
v_x = v_dme
```

```
v_y = v_dme + (r_sy * (i - 1))
```

```
End If
```

```
If i > 1 And i < v_numfil And j = v_f4 Then
```

```
v_x = v_dme + (r_sx * (j - 1))
```

```
v_y = v_dme + (r_sy * (i - 1))
```

```
End If
```

```
If i = v_numfil Then
```

```
v_x = v_dme + (r_sx * (j - 1))
```

```
v_y = v_dme + (r_sy * (i - 1))
```

```
End If
```

```
If i > 1 And i < v_numfil And j > 1 And j < v_f4 Then
```

```
v_x = -99
```

```
v_y = -99
```

```
End If
```

```
If v_x <> -99 And v_y <> -99 Then
```

```
Sheets("MatPorRefuerzo").Select
```

```
Range("J2").Select
```

```

        Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
            ActiveCell.Offset(1, 0).Select
        Loop
        ActiveCell = (v_x)
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        ActiveCell = (v_y)
    End If
Next
Next
End Function

```

### 2.3) Public Function SiguientesMatrices( )

Distancia equivalente(Dis(i)) desde la cara más comprimida al centroide de cada varilla

```

Sheets("MatPorRefuerzo").Select
Range("J1").Select
For i = 1 To tot_varillas
    Sheets("MatPorRefuerzo").Select
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    mccv_x = ActiveCell
    ActiveCell.Offset(0, 1).Select
    mccv_y = ActiveCell
    r_x = v_b - mccv_x
    r_y = v_h - mccv_y
    ActiveCell.Offset(0, 2).Select
    ActiveCell = (r_x)
    ActiveCell.Offset(0, 1).Select
    ActiveCell = (r_y)
    r_hipo = Sqr((r_x ^ 2 + r_y ^ 2))
    ActiveCell.Offset(0, 2).Select
    ActiveCell = (r_hipo)
    r_gamma = Atn((r_y) / (r_x))
    ActiveCell.Offset(0, 2).Select
    ActiveCell = (r_gamma)
    r_landa = Abs(r_gamma - r_teta)
    ActiveCell.Offset(0, 2).Select
    ActiveCell = (r_landa)
    r_dis = r_hipo * Cos(r_landa)
    ActiveCell.Offset(0, 2).Select
    ActiveCell = (r_dis)

```

```

ActiveCell.Offset(0, -12).Select
Next
End Function

```

#### 2.4) Public Function Calculo\_Puntos( )

Cálculo de los puntos que definen el diagrama de interacción.

```

For mpr = 1 To 3 Step 1
For c = v_inicial To v_final Step v_incre
Sheets("MatPorRefuerzo").Select
Range("V1").Select
a_r_mres = 0
a_r_Res = 0
r_cte = v_ec / c
r_Ey = v_fy / v_mes

```

```

For i = 1 To tot_varillas
Sheets("MatPorRefuerzo").Select
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
r_dis = ActiveCell.Value
r_en = c - r_dis
r_cg = (r_hb / 2) - r_dis
r_es = r_cte * r_en

```

```

If i = 1 Then
r_es1 = r_cte * r_en
End If

```

```

If r_es < 0 Then
r_ind = -1
Else
r_ind = 1
End If

```

```

If Abs(r_es) <= r_Ey Then
v_fs = v_mes * r_es
Else
v_fs = v_fy * r_ind
End If

```

```

r_ag = v_b * v_h
r_as = (r_ag * (mpr / 100)) / tot_varillas

```



```

r_Res = r_as * v_fs
r_mres = r_Res * r_cg
a_r_mres = a_r_mres + r_mres
a_r_Res = a_r_Res + r_Res
Next

```

```

r_beta = Proc_r_Beta()
r_a = r_beta * c
If r_a > r_hb Then
r_a = r_hb
End If

```

```

r_teta = Calculo_r_teta()
r_dx = r_a / Cos(r_teta)
r_dy = r_a / Sin(r_teta)
r_dxc = v_b / 2
r_dyc = v_h / 2

```

```

If r_dx <= v_b And r_dy <= v_h Then
r_AEHC = (r_dx * r_dy) / 2
r_x1 = r_dx / 3
r_y1 = r_dy / 3
r_xc = Abs(r_dxc - r_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - r_y1)
Else
If r_dx <= v_b And r_dy > v_h Then
r_yp = r_dy - v_h
r_xp = r_yp * Tan(r_teta)
r_AEHC = (((r_dx * r_dy) / 2) - ((r_yp * r_xp) / 2))
r_x1 = (((r_dx ^ 2 * r_dy) / 6) - ((r_yp * (r_xp) ^ 2) / 6)) / r_AEHC
r_y1 = (((r_dx * (r_dy) ^ 2) / 6) - ((r_yp * r_xp) / 2) * (v_h + (r_yp) / 3)) /
r_AEHC
r_xc = Abs(r_dxc - r_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - r_y1)
Else
If r_dx > v_b And r_dy > v_h Then
r_xp = r_dx - v_b
r_yp = r_dy - v_h
r_x2p = r_yp * Tan(r_teta)
r_y2p = r_xp / Tan(r_teta)
r_AEHC = (r_dx * r_dy) / 2 - (r_xp * r_y2p) / 2 - (r_x2p * r_yp) / 2

```

```

r_x1 = (((((r_dx ^ 2) * r_dy) / 6) - (((v_b + (r_xp) / 3)) * ((r_xp * r_y2p) / 2)) -
((r_x2p ^ 2 * r_yp) / 6)) / r_AEHC
r_y1 = (((r_dx * r_dy ^ 2) / 6) - (((r_y2p) ^ 2 * r_xp) / 6) - ((v_h + (r_yp) / 3) *
(r_x2p * r_yp) / 2)) / r_AEHC
r_xc = Abs(r_dxc - v_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - v_y1h)
Else
If r_dx > v_b And r_dy <= v_h Then
r_xp = r_dx - v_b
r_yp = r_xp / Tan(r_teta)
r_AEHC = (((r_dx * r_dy) / 2) - ((r_yp * r_xp) / 2))
r_x1 = (((r_dx ^ 2 * r_dy) / 6) - ((r_yp * (r_xp) / 2) * (v_b + (r_xp) / 3))) /
r_AEHC
r_y1 = (((r_dx * (r_dy) ^ 2) / 6) - ((r_yp ^ 2 * r_xp) / 6)) / r_AEHC
r_xc = Abs(r_dxc - r_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - r_y1)
End If
End If
End If
End If

r_hp = Sqr(r_x1 ^ 2 + r_y1 ^ 2)
r_ang = (Atn(r_y1 / r_x1))
r_ang2 = Abs(r_ang - r_teta)
r_z1 = r_hp * Cos(r_ang2)
r_zc = (r_hb / 2) - r_z1
r_cc = 0.85 * v_fc * r_AEHC
r_Mcc = r_cc * r_zc

If r_es1 >= -0.002 Then
r_fi = 0.65
Else
If r_es1 <= -0.005 Then
r_fi = 0.9
Else
r_fi = 0.65 + (Abs(r_es1) - 0.002) * (250 / 3)
End If
End If

Sheets("datgen").Select
Range("H4").Select

```

```
If mpr = 1 Then
Range("H4").Select
End If
```

```
If mpr = 2 Then
Range("I4").Select
End If
```

```
If mpr = 3 Then
Range("J4").Select
End If
```

```
Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop
ActiveCell = (r_fi)
r_mn = (r_fi * (a_r_mres + r_Mcc))
r_pm = r_fi * (a_r_Res + r_cc)
Sheets("datgen").Select
If mpr = 1 Then
Range("A4").Select
End If
```

```
If mpr = 2 Then
Range("C4").Select
End If
```

```
If mpr = 3 Then
Range("E4").Select
End If
```

```
Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop
ActiveCell = (r_mn)
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell = (r_pm)
Next
Next
End Function
```

### 3) Puntos Notables

#### 3.1) Public Function para\_m0 ( )

Determinación del momento flexionante puro (Mo).

```
For mpr = 1 To 3 Step 1
    v_csup = v_v2 * (6300 / (6300 + v_fy))
    v_cinf = 5
    c = (v_csup + v_cinf) / 2
    v_fre = 99
```

```
Do While v_fre = 99
    Sheets("MatPorRefuerzo").Select
    Range("V1").Select
    a_r_mres = 0
    a_r_Res = 0
    r_cte = v_ec / c
    r_Ey = v_fy / v_mes
```

```
For i = 1 To tot_varillas
    Sheets("MatPorRefuerzo").Select
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    r_dis = ActiveCell.Value
    r_en = c - r_dis
    r_cg = (r_hb / 2) - r_dis
    r_es = r_cte * r_en
```

```
If i = 1 Then
    r_es1 = r_cte * r_en
End If
```

```
If r_es < 0 Then
    r_ind = -1
Else
    r_ind = 1
End If
```

```
If Abs(r_es) <= r_Ey Then
    v_fs = v_mes * r_es
Else
    v_fs = v_fy * r_ind
```

End If

```
r_ag = v_b * v_h
r_as = (r_ag * (mpr / 100)) / tot_varillas
r_Res = r_as * v_fs
r_mres = r_Res * r_cg
a_r_mres = a_r_mres + r_mres
a_r_Res = a_r_Res + r_Res
Next
```

```
r_beta = Proc_r_Beta()
r_a = r_beta * c
If r_a > r_hb Then
r_a = r_hb
End If
```

```
r_teta = Calculo_r_teta()
r_dx = r_a / Cos(r_teta)
r_dy = r_a / Sin(r_teta)
r_dxc = v_b / 2
r_dyc = v_h / 2
```

```
If r_dx <= v_b And r_dy <= v_h Then
r_AEHC = (r_dx * r_dy) / 2
r_x1 = r_dx / 3
r_y1 = r_dy / 3
r_xc = Abs(r_dxc - r_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - r_y1)
Else
If r_dx <= v_b And r_dy > v_h Then
r_yp = r_dy - v_h
r_xp = r_yp * Tan(r_teta)
r_AEHC = (((r_dx * r_dy) / 2) - ((r_yp * r_xp) / 2))
r_x1 = (((r_dx ^ 2 * r_dy) / 6) - ((r_yp * (r_xp) ^ 2) / 6)) / r_AEHC
r_y1 = (((r_dx * (r_dy) ^ 2) / 6) - ((r_yp * r_xp) / 2) * (v_h + (r_yp) / 3)) /
r_AEHC
r_xc = Abs(r_dxc - r_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - r_y1)
Else
If r_dx > v_b And r_dy > v_h Then
r_xp = r_dx - v_b
```

```

r_yp = r_dy - v_h
r_x2p = r_yp * Tan(r_teta)
r_y2p = r_xp / Tan(r_teta)
r_AEHC = (r_dx * r_dy) / 2 - (r_xp * r_y2p) / 2 - (r_x2p * r_yp) / 2
r_x1 = (((((r_dx ^ 2) * r_dy) / 6) - (((v_b + (r_xp) / 3)) * ((r_xp * r_y2p) / 2)) -
((r_x2p ^ 2 * r_yp) / 6)) / r_AEHC
r_y1 = (((r_dx * r_dy ^ 2) / 6) - (((r_y2p) ^ 2 * r_xp) / 6) - ((v_h + (r_yp) / 3) *
(r_x2p * r_yp) / 2)) / r_AEHC
r_xc = Abs(r_dxc - v_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - v_y1h)
Else
If r_dx > v_b And r_dy <= v_h Then
r_xp = r_dx - v_b
r_yp = r_xp / Tan(r_teta)
r_AEHC = (((r_dx * r_dy) / 2) - ((r_yp * r_xp) / 2))
r_x1 = (((((r_dx ^ 2 * r_dy) / 6) - ((r_yp * (r_xp) / 2) * (v_b + (r_xp) / 3))) /
r_AEHC 'FALTABA /2
r_y1 = (((r_dx * (r_dy) ^ 2) / 6) - ((r_yp ^ 2 * r_xp) / 6)) / r_AEHC
r_xc = Abs(r_dxc - r_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - r_y1)
End If
End If
End If
End If

r_hp = Sqr(r_x1 ^ 2 + r_y1 ^ 2)
r_ang = (Atn(r_y1 / r_x1))
r_ang2 = Abs(r_ang - r_teta)
r_z1 = r_hp * Cos(r_ang2)
r_zc = (r_hb / 2) - r_z1
r_cc = 0.85 * v_fc * r_AEHC
r_Mcc = r_cc * r_zc

If r_es1 >= -0.002 Then
r_fi = 0.65
Else
If r_es1 <= -0.005 Then
r_fi = 0.9
Else
r_fi = 0.65 + (Abs(r_es1) - 0.002) * (250 / 3)
End If

```

End If

$r_{mn} = (r_{fi} * (a_{r\_mres} + r_{Mcc}))$

$r_{pm} = r_{fi} * (a_{r\_Res} + r_{cc})$

If Abs( $r_{pm}$ ) <= 0.1 Then

$r_{mn} = r_{mn}$

$v_{fre} = 88$

Else

If  $r_{pm} < 0$  Then

$v_{cinf} = c$

Else

$v_{csup} = c$

End If

End If

$c = (v_{csup} + v_{cinf}) / 2$

Sheets("ParaM0").Select

If mpr = 1 Then

Range("A4").Select

End If

If mpr = 2 Then

Range("C4").Select

End If

If mpr = 3 Then

Range("E4").Select

End If

Do While Not IsEmpty(ActiveCell)

ActiveCell.Offset(1, 0).Select

Loop

ActiveCell = ( $r_{mn}$ )

ActiveCell.Offset(0, 1).Select

ActiveCell = ( $r_{pm}$ )

Loop

Next

End Function

### 3.2) Public Function MatParaCurva02\_ Pnmax()

Carga axial máxima de diseño.

```
v_res = para_m0()
Sheets("paracurva").Select
For mpr = 1 To 3 Step 1
If mpr = 1 Then
Range("A4").Select
End If

If mpr = 2 Then
Range("C4").Select
End If

If mpr = 3 Then
Range("E4").Select
End If

v_dat = ActiveCell
Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop
ActiveCell.Offset(-1, 0).Select
v_dat = ActiveCell
Do While v_dat > 1

v_dat = ActiveCell
ActiveCell.Offset(-1, 0).Select
Loop
ActiveCell.Offset(1, 0).Select

ActiveCell.Offset(0, 1).Select
v_y = ActiveCell
v_y = v_y * 0.8
v_dat = ActiveCell
Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop
ActiveCell.Offset(-1, 0).Select

v_dat = ActiveCell
```



```

Do While v_dat <> 999
If v_y < v_dat Then
ActiveCell = v_y
End If
ActiveCell.Offset(-1, 0).Select
v_dat = ActiveCell
Loop

Sheets("ParaM0").Select
If mpr = 1 Then
Range("A4").Select
End If

If mpr = 2 Then
Range("C4").Select
End If

If mpr = 3 Then
Range("E4").Select
End If

v_dat = ActiveCell
Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop
ActiveCell.Offset(-1, 0).Select
v_xr = ActiveCell
v_hoja = 1
Do While v_hoja < 3
If v_hoja = 1 Then
Sheets("paracurva").Select
Else
Sheets("datgen").Select
End If

If mpr = 1 Then
Range("A4").Select
End If

If mpr = 2 Then
Range("C4").Select

```

End If

If mpr = 3 Then  
Range("E4").Select  
End If

ActiveCell.Offset(0, 1).Select  
v\_dat = ActiveCell  
Do While Not IsEmpty(ActiveCell)  
If v\_dat < 0 Then  
ActiveCell.Value = 0  
ActiveCell.Offset(0, -1).Select  
ActiveCell.Value = v\_xr  
ActiveCell.Offset(0, 1).Select  
End If  
ActiveCell.Offset(1, 0).Select  
v\_dat = ActiveCell  
Loop  
v\_hoja = v\_hoja + 1  
Loop  
Sheets("paracurva").Select  
Next  
End Function

#### **4) Public Function Disenio ( )**

Realiza el diseño de la columna.

$r_{Ex} = v_{muy} / v_{pu}$   
 $r_{Ey} = v_{mux} / v_{pu}$   
 $r_{ee} = \text{Sqr}(r_{Ex}^2 + r_{Ey}^2)$

For mpr = 1 To 3 Step 2  
v\_csup = 3 \* r\_hb  
v\_cinf = v\_dme  
c = (v\_csup + v\_cinf) / 2  
v\_fre = 99

Do While v\_fre = 99  
Sheets("MatPorRefuerzo").Select  
Range("V1").Select  
a\_r\_mres = 0

```

a_r_Res = 0
r_cte = v_ec / c
r_Ey = v_fy / v_mes

For i = 1 To tot_varillas

    Sheets("MatPorRefuerzo").Select
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    r_dis = ActiveCell.Value
    r_en = c - r_dis
    r_cg = (r_hb / 2) - r_dis

    r_es = r_cte * r_en
    If i = 1 Then
        r_es1 = r_cte * r_en
    End If

    If r_es < 0 Then
        r_ind = -1
    Else
        r_ind = 1
    End If

    If Abs(r_es) <= r_Ey Then
        v_fs = v_mes * r_es
    Else
        v_fs = v_fy * r_ind
    End If

    r_ag = v_b * v_h
    r_as = (r_ag * (mpr / 100)) / tot_varillas
    r_Res = r_as * v_fs

    r_mres = r_Res * r_cg
    a_r_mres = a_r_mres + r_mres
    a_r_Res = a_r_Res + r_Res
Next

r_beta = Proc_r_Beta()
r_a = r_beta * c
If r_a > r_hb Then

```

```

r_a = r_hb
End If

r_teta = Calculo_r_teta()
r_dx = r_a / Cos(r_teta)
r_dy = r_a / Sin(r_teta)
r_dxc = v_b / 2
r_dyc = v_h / 2

If r_dx <= v_b And r_dy <= v_h Then
r_AEHC = (r_dx * r_dy) / 2
r_x1 = r_dx / 3
r_y1 = r_dy / 3
r_xc = Abs(r_dxc - r_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - r_y1)
Else
If r_dx <= v_b And r_dy > v_h Then
r_yp = r_dy - v_h
r_xp = r_yp * Tan(r_teta)
r_AEHC = (((r_dx * r_dy) / 2) - ((r_yp * r_xp) / 2))
r_x1 = (((r_dx ^ 2 * r_dy) / 6) - ((r_yp * (r_xp ^ 2) / 6)) / r_AEHC
r_y1 = (((r_dx * (r_dy ^ 2) / 6) - ((r_yp * r_xp) / 2) * (v_h + (r_yp) / 3)) /
r_AEHC
r_xc = Abs(r_dxc - r_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - r_y1)
Else
If r_dx > v_b And r_dy > v_h Then
r_xp = r_dx - v_b
r_yp = r_dy - v_h
r_x2p = r_yp * Tan(r_teta)
r_y2p = r_xp / Tan(r_teta)
r_AEHC = (r_dx * r_dy) / 2 - (r_xp * r_y2p) / 2 - (r_x2p * r_yp) / 2
r_x1 = (((((r_dx ^ 2) * r_dy) / 6) - (((v_b + (r_xp) / 3)) * ((r_xp * r_y2p) / 2)) -
((r_x2p ^ 2 * r_yp) / 6)) / r_AEHC
r_y1 = (((r_dx * r_dy ^ 2) / 6) - (((r_y2p) ^ 2 * r_xp) / 6) - ((v_h + (r_yp) / 3) *
(r_x2p * r_yp) / 2)) / r_AEHC
r_xc = Abs(r_dxc - r_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - r_y1)
Else
If r_dx > v_b And r_dy <= v_h Then
r_xp = r_dx - v_b

```

```

r_yp = r_xp / Tan(r_teta)
r_AEHC = (((r_dx * r_dy) / 2) - ((r_yp * r_xp) / 2))
r_x1 = (((r_dx) ^ 2 * r_dy) / 6) - ((r_yp * (r_xp) / 2) * (v_b + (r_xp) / 3))) /
r_AEHC 'FALTABA /2
r_y1 = (((r_dx * (r_dy) ^ 2) / 6) - ((r_yp ^ 2 * r_xp) / 6)) / r_AEHC
r_xc = Abs(r_dxc - r_x1)
r_yc = Abs(r_dyc - r_y1)
End If
End If
End If
End If

```

```

r_hp = Sqr(r_x1 ^ 2 + r_y1 ^ 2)
r_ang = (Atn(r_y1 / r_x1))
r_ang2 = Abs(r_ang - r_teta)
r_z1 = r_hp * Cos(r_ang2)
r_zc = (r_hb / 2) - r_z1
r_cc = 0.85 * v_fc * r_AEHC
r_Mcc = r_cc * r_zc

```

```

If r_es1 >= -0.002 Then
r_fi = 0.65
Else
If r_es1 <= -0.005 Then
r_fi = 0.9
Else
r_fi = 0.65 + (Abs(r_es1) - 0.002) * (250 / 3)
End If
End If

```

```

r_mn = (r_fi * (a_r_mres + r_Mcc))
r_pm = r_fi * (a_r_Res + r_cc)

```

```

Sheets("Dise").Select
If mpr = 1 Then
Range("A4").Select
End If

```

```

If mpr = 2 Then
Range("C4").Select

```

End If

If mpr = 3 Then  
Range("E4").Select  
End If

Do While Not IsEmpty(ActiveCell)  
ActiveCell.Offset(1, 0).Select  
Loop  
ActiveCell = (r\_mn)  
ActiveCell.Offset(0, 1).Select  
ActiveCell = (r\_pm)  
 $r_e = r_{mn} / r_{pm}$

If Abs( $r_e - r_{ee}$ ) <= 0.01 Then  
v\_fre = 88  
If mpr = 1 Then  
r\_Pu1 = r\_pm  
r\_Mu1 = r\_mn  
Else  
r\_Pu3 = r\_pm  
r\_Mu3 = r\_mn  
End If

If v\_pu <= r\_Pu1 And mpr = 1 Then  
If v\_mensaje = "NO" Then  
MsgBox "Su Columna esta Sobredimensionada, por lo tanto requiere de Porcentaje minimo de Refuerzo igual al 1%"  
v\_mensaje = "SI"  
Sheets("dat\_usuario").Select  
Range("r\_pd").Select  
Range("r\_pd").Value = 0.01  
End If  
Else  
If mpr = 3 Then  
If (v\_pu >= r\_Pu3) Then  
If v\_mensaje = "NO" Then  
MsgBox "Su Columna esta Subdimensionada, por lo tanto requiere de Porcentaje de Refuerzo mayor o Igual al 3%"  
v\_mensaje = "SI"  
Sheets("dat\_usuario").Select

```

Range("r_pd").Select
Range("r_pd").Value = 0.03

End If
Else
r_ro = (1 / 100) + ((2 / 100) * (v_pu - r_Pu1)) / (r_Pu3 - r_Pu1)
r_ro = (r_ro * 100)

If v_mensaje = "NO" Then
MsgBox "Su Columna necesita refuerzo entre el 1% y 3%, Por lo tanto el
porcentaje que requiere es: " & r_ro & "%"
v_mensaje = "SI"
Sheets("dat_usuario").Select
Range("r_pd").Select
Range("r_pd").Value = r_ro / 100
End If
End If
End If
End If

Else
If r_e < r_ee Then
v_csup = c
Else
v_cinf = c
End If
c = (v_csup + v_cinf) / 2
End If
Loop
Next
End Function

```

## 5) Comprobación del Diseño

### 5.1) Public Function Comprobacion\_Pyy ( )

Se determina la carga axial cuando el eje de flexion es Y-Y (Py)

```

r_My = v_muy
r_Ex = r_My / v_pu
r_teta = 0°
r_csup = 3 * v_b

```

r\_hb = v\_b

Sheets("dat\_usuario").Select  
Range("D7").Select  
v\_fc = Range("D7")

If v\_fc <= 280 Then  
r\_beta = 0.85  
Else  
r\_beta = 0.85 - (0.05 \* (v\_fc - 280)) / 70  
End If

If r\_beta < 0.65 Then  
r\_beta = 0.65  
End If

r\_sx = (v\_b - 2 \* (v\_dme)) / (v\_numfilyy - 1)  
r\_sy = (v\_h - 2 \* (v\_dme)) / (v\_numfil - 1)

For i = 1 To v\_numfil  
For j = 1 To v\_numfilyy  
If i = 1 Then  
v\_x = v\_dme + (r\_sx \* (j - 1))  
v\_y = v\_dme  
End If

If i > 1 And i < v\_numfil And j = 1 Then  
v\_x = v\_dme  
v\_y = v\_dme + (r\_sy \* (i - 1))  
End If

If i > 1 And i < v\_numfil And j = v\_numfilyy Then  
v\_x = v\_dme + (r\_sx \* (j - 1))  
v\_y = v\_dme + (r\_sy \* (i - 1))  
End If

If i = v\_numfil Then  
v\_x = v\_dme + (r\_sx \* (j - 1))  
v\_y = v\_dme + (r\_sy \* (i - 1))  
End If



```

If i > 1 And i < v_numfil And j > 1 And j < v_numfilyy Then
v_x = -99
v_y = -99
End If

```

```

If v_x <> -99 And v_y <> -99 Then
Sheets("MatPorRefuerzo 2").Select
Range("J2").Select
Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop
ActiveCell = (v_x)
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell = (v_y)
End If
Next
Next

```

```

Sheets("MatPorRefuerzo 2").Select
Range("J1").Select
For i = 1 To tot_varillas
Sheets("MatPorRefuerzo 2").Select
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
mccv_x = ActiveCell
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
mccv_y = ActiveCell
r_x = v_b - mccv_x
r_y = v_h - mccv_y

```

```

ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell = (r_x)
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell = (r_y)

```

```

r_hipo = Sqr((r_x ^ 2 + r_y ^ 2))
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell = (r_hipo)

```

```

r_gamma = Atn((r_y) / (r_x))
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell = (r_gamma)

```

```

r_landa = Abs(r_gamma - r_teta)
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell = (r_landa)

```

```

r_dis = r_hipo * Cos(r_landa)
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell = (r_dis)
ActiveCell.Offset(0, -12).Select
Next

```

```

r_ast = r_pd * v_b * v_h
r_anvar = r_ast / tot_varillas

```

```

If r_anvar > 0 And r_anvar <= 1.13 Then
r_anvar = 1.13
Else
If r_anvar > 1.13 And r_anvar <= 1.54 Then
r_anvar = 1.54
Else
If r_anvar > 1.54 And r_anvar <= 2.01 Then
r_anvar = 2.01
Else
If r_anvar > 2.01 And r_anvar <= 2.54 Then
r_anvar = 2.54
Else
If r_anvar > 2.54 And r_anvar <= 3.14 Then
r_anvar = 3.14
Else
If r_anvar > 3.14 And r_anvar <= 3.8 Then
r_anvar = 3.8
Else
If r_anvar > 3.8 And r_anvar <= 4.91 Then
r_anvar = 4.91
Else
If r_anvar > 4.91 And r_anvar <= 6.16 Then
r_anvar = 6.16
Else
r_anvar = 8.04
End If
End If

```

```

End If
End If
End If
End If
End If
End If

```

```

Sheets("dat_usuario").Select
Range("r_anvar").Select
Range("r_anvar").Value = r_anvar
r_atvar = r_anvar * tot_varillas
r_pc = r_atvar / (v_b * v_h)
Sheets("dat_usuario").Select
Range("r_pc").Select
Range("r_pc").Value = r_pc * 100
Sheets("dat_usuario").Select
Range("r_pc").Select
r_pc = Range("r_pc")

```

```

For mpr = r_pc To r_pc
v_csup = 3 * r_hb
v_cinf = 5
c = (v_csup + v_cinf) / 2
v_fre = 99

```

```

Do While v_fre = 99
Sheets("MatPorRefuerzo 2").Select
Range("V1").Select
a_r_mres = 0 ' X
a_r_Res = 0
r_cte = v_ec / c
r_Ey = v_fy / v_mes

```

```

For i = 1 To tot_varillas
Sheets("MatPorRefuerzo 2").Select
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
r_dis = ActiveCell.Value
r_en = c - r_dis
r_cg = (r_hb / 2) - r_dis

```

```

r_es = r_cte * r_en

```

```

If i = 1 Then
r_es = r_cte * r_en
End If

```

```

If r_es < 0 Then
r_ind = -1
Else
r_ind = 1
End If

```

```

If Abs(r_es) <= r_Ey Then
v_fs = v_mes * r_es
Else
v_fs = v_fy * r_ind
End If

```

```

r_ag = v_b * v_h
r_as = (r_ag * (mpr / 100)) / tot_varillas
r_Res = r_as * v_fs
r_mres = r_Res * r_cg
a_r_mres = a_r_mres + r_mres
a_r_Res = a_r_Res + r_Res
Next

```

```

r_beta = r_beta
r_a = r_beta * c
If r_a > r_hb Then
r_a = r_hb
End If

```

```

r_dx = r_a
r_dy = v_h
r_AEHC = (r_dx * r_dy)
r_zc = (r_hb - r_a) / 2
r_cc = 0.85 * v_fc * r_AEHC
r_Mcc = r_cc * r_zc

```

```

If r_es1 >= -0.002 Then
r_fi = 0.65
Else
If r_es1 <= -0.005 Then

```

```

r_fi = 0.9
Else
r_fi = 0.65 + (Abs(r_es1) - 0.002) * (250 / 3)
End If
End If

```

```

r_mn = (r_fi * (a_r_mres + r_Mcc))
r_pm = r_fi * (a_r_Res + r_cc)
r_e = r_mn / r_pm

```

```

If r_e > (r_Ex - 0.001) And r_e < (r_Ex) Then
r_Py = r_pm / 0.65
r_Mnoy = r_mn / 0.65

```

```

v_fre = 77
Else
If r_e < r_Ex Then
v_csup = c
Else
v_cinf = c
End If
End If

```

```

c = (v_csup + v_cinf) / 2
Loop
Sheets("Comp_enY").Select
Range("A4").Select

```

```

Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop
ActiveCell = (r_mn) / 0.65
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell = (r_pm) / 0.65
Next
End Function

```

## 5.2) Public Function Comprobacion\_Pxx ( )

Se determina la carga axial cuando el eje de flexion es X-X (Px)

```

r_Mx = v_mux

```

```

r_Ey1 = r_Mx / v_pu
r_teta = 90°
If v_fc <= 280 Then
r_beta = 0.85
Else
r_beta = 0.85 - (0.05 * (v_fc - 280)) / 70
End If
If r_beta < 0.65 Then
r_beta = 0.65
End If

For i = 1 To v_numfil
For j = 1 To v_numfilyy
If i = 1 Then
v_x = v_dme + (r_sx * (j - 1))
v_y = v_dme
End If

If i > 1 And i < v_numfil And j = 1 Then
v_x = v_dme
v_y = v_dme + (r_sy * (i - 1))
End If

If i > 1 And i < v_numfil And j = v_numfilyy Then
v_x = v_dme + (r_sx * (j - 1))
v_y = v_dme + (r_sy * (i - 1))
End If

If i = v_numfil Then
v_x = v_dme + (r_sx * (j - 1))
v_y = v_dme + (r_sy * (i - 1))
End If

If i > 1 And i < v_numfil And j > 1 And j < v_numfilyy Then
v_x = -99
v_y = -99
End If

If v_x <> -99 And v_y <> -99 Then
Sheets("MatPorRefuerzo 3").Select
Range("J2").Select

```

```

Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop
ActiveCell = (v_x)
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell = (v_y)
End If
Next
Next

```

```

Sheets("MatPorRefuerzo 3").Select
Range("J1").Select
For i = 1 To tot_varillas
Sheets("MatPorRefuerzo 3").Select
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
mccv_x = ActiveCell
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
mccv_y = ActiveCell

```

```

r_x = v_b - mccv_x
r_y = v_h - mccv_y
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell = (r_x)
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell = (r_y)

```

```

r_hipo = Sqr((r_x ^ 2 + r_y ^ 2))
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell = (r_hipo)

```

```

r_gamma = Atn((r_y) / (r_x))
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell = (r_gamma)

```

```

r_landa = Abs(r_gamma - r_teta)
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell = (r_landa)

```

```

r_dis = r_hipo * Cos(r_landa)
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
ActiveCell = (r_dis)

```

```
ActiveCell.Offset(0, -12).Select  
Next
```

```
Sheets("dat_usuario").Select  
Range("r_pc").Select  
r_pc = Range("r_pc")
```

```
For mpr = r_pc To r_pc  
v_csup = 3 * r_hb  
v_cinf = 5  
c = (v_csup + v_cinf) / 2  
v_fre = 99  
Do While v_fre = 99  
Sheets("MatPorRefuerzo 3").Select  
Range("V1").Select  
a_r_mres = 0  
a_r_Res = 0  
r_cte = v_ec / c  
r_Ey = v_fy / v_mes
```

```
For i = 1 To tot_varillas  
r_Ey = v_fy / v_mes  
Sheets("MatPorRefuerzo 3").Select  
ActiveCell.Offset(1, 0).Select  
r_dis = ActiveCell.Value  
r_en = c - r_dis  
r_cg = (r_hb / 2) - r_dis  
r_es = r_cte * r_en
```

```
If i = 1 Then  
r_es = r_cte * r_en  
End If
```

```
If r_es < 0 Then  
r_ind = -1  
Else  
r_ind = 1  
End If
```

```
If Abs(r_es) <= r_Ey Then
```



$v_{fs} = v_{mes} * r_{es}$

Else

$v_{fs} = v_{fy} * r_{ind}$

End If

$r_{ag} = v_b * v_h$

$r_{as} = (r_{ag} * (mpr / 100)) / tot\_varillas$

$r_{Res} = r_{as} * v_{fs}$

$r_{mres} = r_{Res} * r_{cg}$

$a_{r\_mres} = a_{r\_mres} + r_{mres}$

$a_{r\_Res} = a_{r\_Res} + r_{Res}$

Next

$r_{beta} = r_{beta}$

$r_a = r_{beta} * c$

If  $r_a > r_{hb}$  Then

$r_a = r_{hb}$

End If

$r_{dx} = v_b$

$r_{dy} = r_a$

$r_{AEHC} = (r_{dx} * r_{dy})$

$r_{zc} = (r_{hb} - r_a) / 2$

$r_{cc} = 0.85 * v_{fc} * r_{AEHC}$

$r_{Mcc} = r_{cc} * r_{zc}$

If  $r_{es1} \geq -0.002$  Then

$r_{fi} = 0.65$

Else

If  $r_{es1} \leq -0.005$  Then

$r_{fi} = 0.9$

Else

$r_{fi} = 0.65 + (Abs(r_{es1}) - 0.002) * (250 / 3)$

End If

End If

$r_{mn} = (r_{fi} * (a_{r\_mres} + r_{Mcc}))$

$r_{pm} = r_{fi} * (a_{r\_Res} + r_{cc})$

$r_e = r_{mn} / r_{pm}$

If  $r_e > (r_{Ey1} - 0.001)$  And  $r_e < (r_{Ey1})$  Then

```

r_Px = r_pm / 0.65
r_Mnox = r_mn / 0.65
v_fre = 77
Else

If r_e < r_Ey1 Then
v_csup = c
Else
v_cinf = c
End If
End If

c = (v_csup + v_cinf) / 2
Loop
Sheets("Comp_enX").Select
Range("A4").Select

Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop
ActiveCell = (r_mn) / 0.65
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell = (r_pm) / 0.65
Next
End Function

```

### **5.3) Private Sub BotComprobacion\_Click ( )**

Procedimiento que genera los datos para realizar la comprobación del diseño

```

v_res = Comprobacion_Pyy()
v_res = Comprobacion_Pxx()
Range("B4").Select
v_Px = Range("B4").Value
v_Px = v_Px

Range("B4").Select
v_py = Range("B4").Value
v_py = v_py
Range("r_pc").Select
r_pc = Range("r_pc")
r_pc = r_pc / 100

```

```

r_ag = v_b * v_h
r_Po = r_ag * (0.85 * v_fc + (r_pc) * v_fy)
r_Pn = v_pu / 0.65

```

```

r_cap = 1 / ((1 / v_py) + (1 / v_Px) - (1 / r_Po))
r_solc = r_Pn

```

```

r_Mnx = v_mux
r_Mny = v_muy
r_Mt = (r_Mny / v_Mn0y) + (r_Mnx / v_Mn0x)

```

```

If r_Pn > (0.1 * v_fc * r_ag) Then
If (Abs(1 - (r_cap / r_solc))) < 0.1 Then

```

```

MsgBox "COMPROBACION CON LA ECUACION DE LA CARGA
RECIPROCA DE BRESLER:      Px =" & Round(v_Px, 1) & "   Py=" &
Round(v_py, 1) & "      Po=" & Round(r_Po, 1) & "
1 / ((1 / Py) + (1 / Px) - (1 / Po))=" & Round(r_cap, 2) & "      Pn =" &
Round(r_solc, 2) & "      Se acepta un margen de error ± 10%" & " error ="
& Round((Abs(1 - (r_cap / r_solc)) * 100), 2) & "% " & "
Por lo tanto se acepta el diseño con los siguientes parametros" & "
b=" & v_b & " cm" & "      h=" & v_h & " cm" & "      Numero de
varillas=" & tot_varillas & "      Diametro=" & Diametro & "mm"

```

```

MsgBox "Distribucion de varillas paralelo al eje x" & "      F1="
&      F1      &      "      Varillas"      &      "
F2=      "      &      F2      &      "      Varillas      "      &      "
F3=      "      &      F3      &      "      Varillas      "      &      "
F4=      "      &      F4      &      "      Varillas      "      &      "
F5= " & F5 & " Varillas" & ""

```

```

Else
MsgBox "(a) Rediseñar: La seccion necesita un % de refuerzo mayor al
3%.RECOMENDACION: Incrementar las dimensiones de la columna porque la
Norma Ecuatoriana de la Construcción tomando en consideracion el riesgo
sismico no permite utilizar una cantidad de refuerzo mayor al 3% "

```

```

End If
Else
If r_Mt <= 1 Then

```

```
MsgBox "COMPROBACION CON LA ECUACION DEL CONTORNO DE  
CARGA DE BRESLER:Se acepta el Diseño "
```

```
Else
```

```
MsgBox "(d) Rediseñar"
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End Sub
```

## **CAPITULO IV**

### **4.1.- DISEÑO Y COMPROBACION DEL DISEÑO CON EL PROGRAMA DESARROLLADO.**

A continuación se representan tres ejemplos de aplicación, cabe recalcar que los datos que se ingresaron, como se puede observar en los ejemplos presentan variaciones en algunos parámetros como son: Resistencia del hormigón ( $f'_c$ ),  $P_u$ ,  $M_{ux}$ ,  $M_{uy}$ , Número total de varillas.

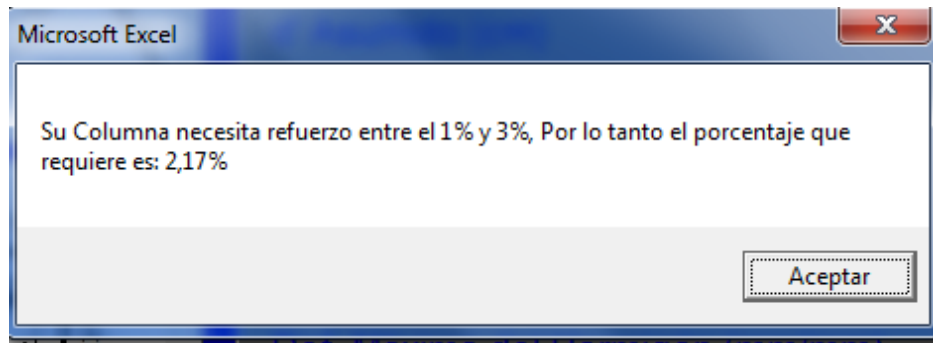
#### **EJEMPLO: 1**

##### **Diseño:**

Este diseño tiene como objetivo obtener un porcentaje de refuerzo que este dentro de los límites que establece el ACI y la NEC, esto es entre el 1% y el 3%.

<i>INGRESO DE DATOS:</i>		
Altura Columna: h(cm)	35	
Base Columna: b(cm)	40	
Resistencia del Acero(Kg/cm <sup>2</sup> )	4200	
Resistencia del Hormigón(Kg/cm <sup>2</sup> )	210	
d' Asumido(cm)	6	
Carga última: $P_u$ (ton)	176.4	
Momento último: $M_{ux}$ (ton-m)	3.17	
Momento último: $M_{uy}$ (ton-m)	7.93	
Módulo Elasticidad del acero: E(Kg/cm <sup>2</sup> )	2100000	
Def.Máxima del hormigón: $\epsilon$ (mm/mm)	0.003	
Nro. Filas de varillas paralelo a x-x	3	
Nro. Varillas en cada fila	F1 =	4
	F2 =	2
	F3 =	4

Resultados del diseño.



### Comprobación:

Para realizar la comprobación del diseño el programa fue estructurado en base a las dos ecuaciones desarrolladas por BRESLER, y son las siguientes ecuaciones:  
Estas ecuaciones se utilizaran en la comprobación de los tres diseños que a continuación se desarrollan.

Si  $P_n \geq 0.10 * f'_c * A_g$

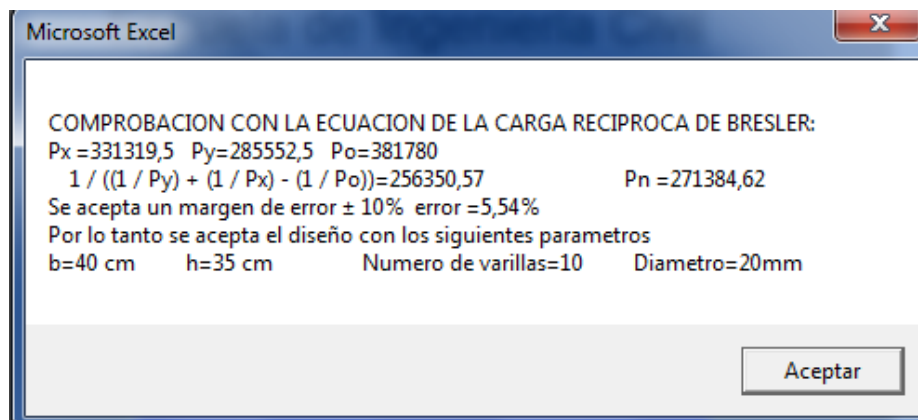
$$1) \quad \frac{1}{P_y} + \frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o} \approx \frac{1}{P_n} \quad \text{ECUACIÓN DE LA CARGA RECÍPROCA}$$

Si  $P_n < 0.10 * f'_c * A_g$

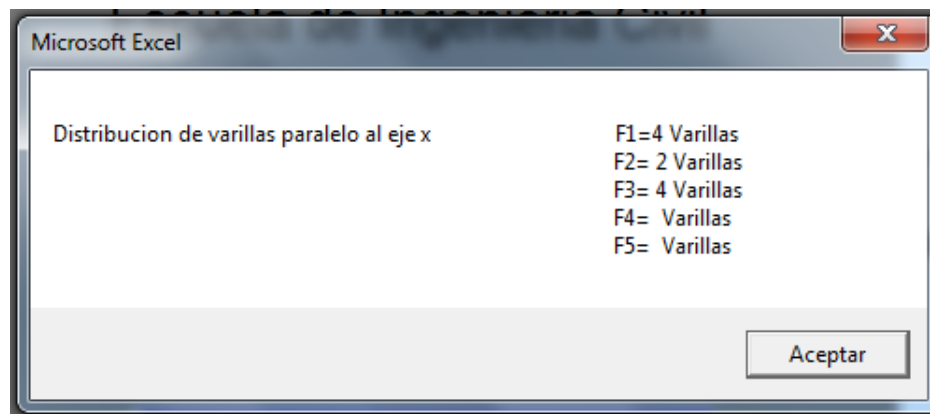
$$2) \quad \frac{M_{ny}}{M_{noy}} + \frac{M_{nx}}{M_{nox}} \approx 1 \quad \text{ECUACIÓN DE CONTORNO DE CARGA}$$

### Comprobación del diseño: Ejemplo 1

Resultados de la comprobación del diseño.



Nota:  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_o$ ,  $P_n$ , representan cargas nominales.



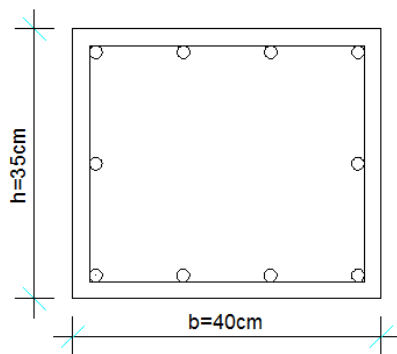
Área/varilla( $\text{cm}^2$ )	3.03
Ø VARILLA(mm)	19.65
Ø COMERCIAL(mm)	20.00
Ast( $\text{cm}^2$ )	31.42
Porcentaje de diseño (%)	2.24
Pn(Kg)= Solicitación	271384.62
$0.10 \cdot f'_c \cdot A_g$ (Kg)	29400.00
$P_n > 0.10 \cdot f'_c \cdot A_g$	
Px (Kg)	331319.50
Py (Kg)	285552.50
Po (Kg)	381780.00
$\frac{1}{\frac{1}{P_y} + \frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o}} = \text{Capacidad}$	256350.57
$\left[ 1 - \left( \frac{\text{Capacidad}}{\text{Solicitud}} \right) \right] \cong \pm 10\%$	5.5%

En la comprobación del diseño se acepta un margen de error de  $\pm 10\%$  relacionando la capacidad con la solicitud.

Como se puede observar en los cálculos el error que se obtiene en este diseño está dentro de los límites, por lo tanto se acepta el diseño.

En consecuencia la columna queda diseñada de la siguiente forma:

b      40 cm  
h      35 cm  
10  
Ast    Ø20mm



## EJEMPLO: 2

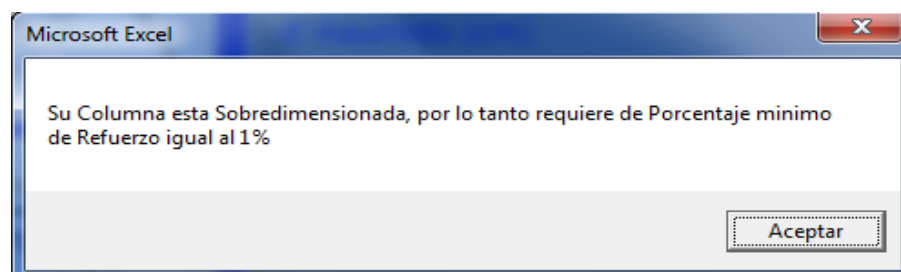
### Diseño:

Este ejemplo está estructurado para obtener un porcentaje de refuerzo menor al mínimo que establece la NEC y el ACI, esto es el 1%.

Cuando se da este caso en el diseño que se esté realizando, el programa asume automáticamente como porcentaje de refuerzo el 1% para cumplir con lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y el ACI.

INGRESO DE DATOS:		
Altura Columna: h(cm)	30	
Base Columna: b(cm)	40	
Resistencia del Acero(Kg/cm <sup>2</sup> )	4200	
Resistencia del Hormigón(Kg/cm <sup>2</sup> )	240	
d' Asumido(cm)	6	
Carga última: Pu(ton)	70.0	
Momento último: Mux(ton-m)	4.5	
Momento último: Muy(ton-m)	7.8	
Módulo Elasticidad del acero: E(Kg/cm <sup>2</sup> )	2100000	
Def.Máxima del hormigón: $\epsilon$ (mm/mm)	0.003	
Nro. Filas de varillas paralelo a x-x	4	
Nro. Varillas en cada fila	F1 =	4
	F2 =	2
	F3 =	2
	F4 =	4

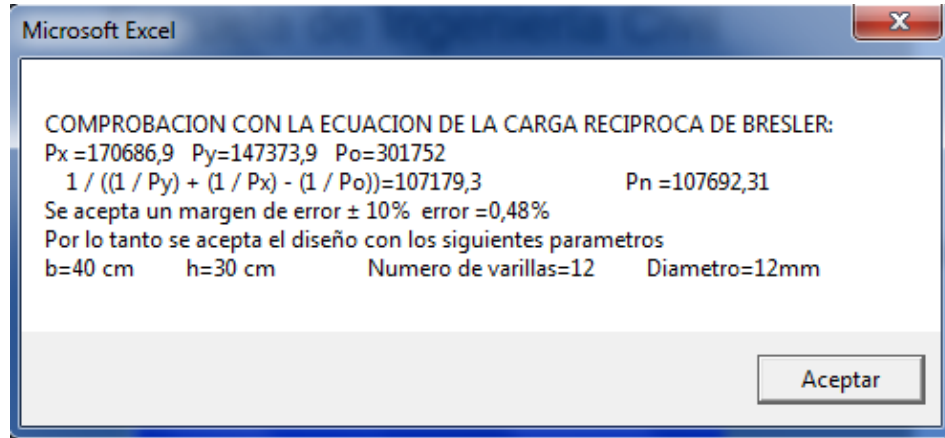
Resultados del diseño.





## Comprobación: Ejemplo 2.

Resultados de la comprobación del diseño



Nota: Px, Py, Po, Pn, representan cargas nominales.

Área/varilla( $\text{cm}^2$ )	1.00
$\emptyset$ VARILLA(mm)	11.28
$\emptyset$ COMERCIAL(mm)	12.00
Ast( $\text{cm}^2$ )	13.57
Porcentaje de diseño (%)	1.13
Pn(Kg) = Solicitación	107692.31
$0.10 \cdot f'_c \cdot A_g$ (Kg)	28800.00
$P_n > 0.10 \cdot f'_c \cdot A_g$	
Px (Kg)	170686.90
Py (Kg)	147373.90
Po (Kg)	301752.00
$\frac{1}{\frac{1}{P_y} + \frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o}} = \text{Capacidad}$	107179.27
$\left[ 1 - \left( \frac{\text{Capacidad}}{\text{Solicitud}} \right) \right] \cong \pm 10\%$	0.5%

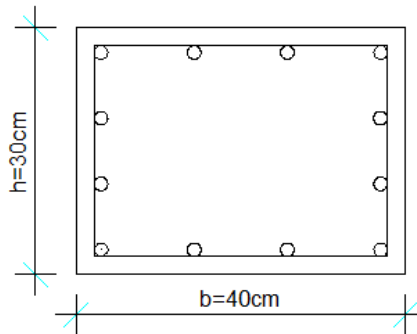
En la comprobación del diseño se acepta un margen de error de  $\pm 10\%$  relacionando la capacidad con la solicitud.

Como se puede observar en los cálculos el error que se obtiene en este diseño está dentro de los límites, por lo tanto se acepta el diseño.

En casos cuando el % es menor que el % mínimo de refuerzo (1%) el programa emite un mensaje en el cual se observa que la columna está sobredimensionada como se observó anteriormente.

Por lo tanto el diseño de la columna queda definido de la siguiente forma:

b      40 cm  
h      30 cm  
12  
Ast    Ø12mm



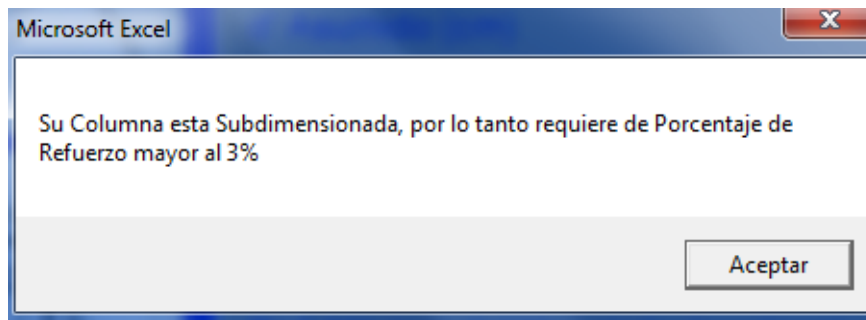
### EJEMPLO: 3

#### Diseño:

Este ejemplo está estructurado para obtener un porcentaje de refuerzo mayor al máximo permitido por la NEC y el ACI para obtener un diseño sismo resistente, esto es el 3%.

INGRESO DE DATOS:		
Altura Columna: h(cm)	35	
Base Columna: b(cm)	35	
Resistencia del Acero(Kg/cm <sup>2</sup> )	4200	
Resistencia del Hormigón(Kg/cm <sup>2</sup> )	280	
d' Asumido(cm)	6	
Carga última: Pu(ton)	210	
Momento último: Mux(ton-m)	4.0	
Momento último: Muy(ton-m)	8.0	
Módulo Elasticidad del acero: E(Kg/cm <sup>2</sup> )	2100000	
Def.Máxima del hormigón: $\epsilon$ (mm/mm)	0.003	
Nro. Filas de varillas paralelo a x-x	4	
Nro. Varillas en cada fila	F1 =	4
	F2 =	2
	F3 =	2
	F4 =	4

### Resultados del diseño:



Cuando el resultado del diseño el porcentaje de refuerzo que se requiere sea mayor al 3%, el programa emite un mensaje en el cual se acota que: la columna esta Subdimensionada.

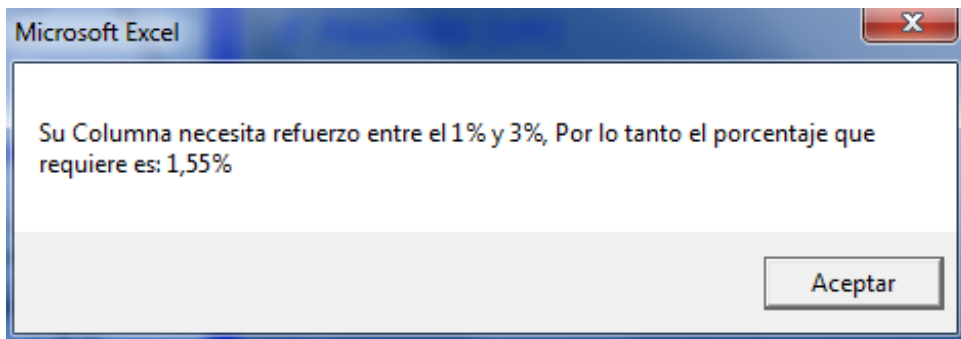
Para este caso el diseño estaría terminado puesto que la columna con las dimensiones actuales no puede ser diseñada y como consecuencia de esto se puede decir que la columna no resiste las solicitaciones de diseño para el máximo porcentaje de refuerzo, como recomendación seria cambiar (incrementar) la sección de la columna y nuevamente realizar el diseño y comprobación del mismo hasta que el porcentaje de refuerzo este dentro de los límites permitidos.

Como ejemplo de aplicación a continuación se realiza el rediseño del ejemplo tres. Para el efecto se incrementara la sección de la columna.

### REDISEÑO del ejemplo 3

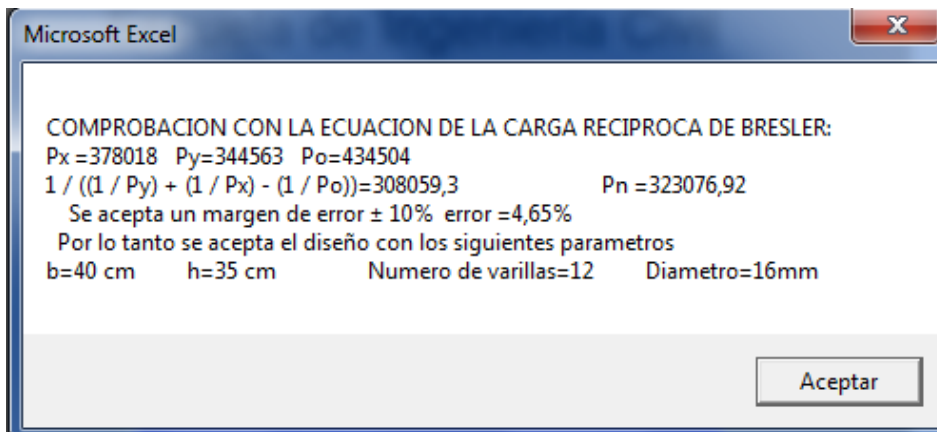
INGRESO DE DATOS:		
Altura Columna: h(cm)	35	
Base Columna: b(cm)	40	
Resistencia del Acero(Kg/cm <sup>2</sup> )	4200	
Resistencia del Hormigón(Kg/cm <sup>2</sup> )	280	
d' Asumido(cm)	6	
Carga última: Pu(ton)	210	
Momento último: Mux(ton-m)	4.0	
Momento último: Muy(ton-m)	8.0	
Módulo Elasticidad del acero: E(Kg/cm <sup>2</sup> )	2100000	
Def.Máxima del hormigón: $\epsilon$ (mm/mm)	0.003	
Nro. Filas de varillas paralelo a x-x	3	
Nro. Varillas en cada fila	F1 =	4
	F2 =	2
	F3 =	2
	F4 =	4

### Resultados del nuevo diseño:

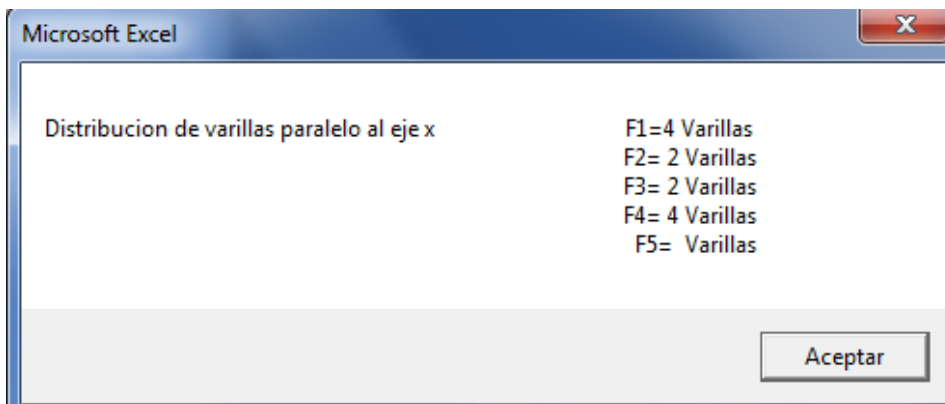


### COMPROBACION del nuevo diseño:

#### Resultados de la comprobación del nuevo diseño:



Nota:  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_o$ ,  $P_n$ , representan cargas nominales.



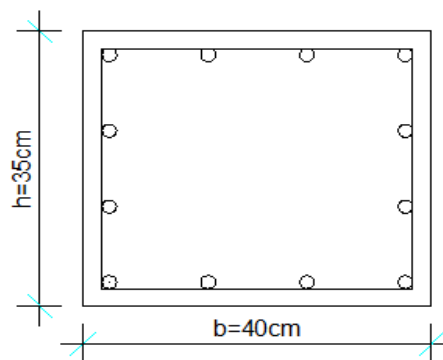
Área/varilla	1.81
Ø VARILLA(mm)	15.17
Ø COMERCIAL(mm)	16.00
Ast(cm <sup>2</sup> )	24.13
Porcentaje de diseño (%)	1.72
Pn(Kg)= Solicitación	323076.92
0.10*f'c *Ag (Kg)	39200.00
Pn> 0.10 *f'c*Ag	
Px (Kg)	378018.00
Py (Kg)	344563.00
Po (Kg)	434504.00
$\frac{1}{\frac{1}{Py} + \frac{1}{Px} - \frac{1}{Po}} = \text{Capacidad}$	308059.25
$\left[1 - \left(\frac{\text{Capacidad}}{\text{Solicitud}}\right)\right] \cong \pm 10\%$	4.6%

Como se puede observar en el rediseño el porcentaje de refuerzo ha disminuido con un pequeño incremento en la sección como se mencionó anteriormente, esto ha permitido que el porcentaje de refuerzo este dentro de los límites. Por lo tanto se acepta el rediseño, el diseño definitivo queda de la siguiente forma:

B= 40 cm

H= 35 cm

Ast= 12 Ø 16mm



#### 4.2.- DISEÑO DE COLUMNAS MEDIANTE EL USO DE ABACOS

El diseño manual se realizará con el objetivo de comprobar que los resultados obtenidos en el diseño y comprobación con el programa sean correctos.

Claro está que los resultados que se obtengan en el diseño manual tendrán alguna variación con los resultados del programa puesto que en varias ocasiones los resultados se redondearan, así como también dependerán de las apreciaciones que se hagan en el uso de ábacos que son necesarios para el diseño.

El diseño manual se lo realizara únicamente para el primer ejemplo desarrollado con el programa puesto que el procedimiento será repetitivo para los otros dos ejemplos.

DATOS:	
Altura Columna: h(cm)	35
Base Columna: b(cm)	40
Resistencia del Acero(Kg/cm <sup>2</sup> )	4200
Resistencia del Hormigón(Kg/cm <sup>2</sup> )	210
d' Asumido(cm)	6
Carga última: Pu(ton)	176.4
Momento último: Mux(ton-m)	3.17
Momento último: Muy(ton-m)	7.93
Módulo Elasticidad del acero: E(Kg/cm <sup>2</sup> )	2100000

$$e_x = \frac{M_{uy}}{P_u} \quad e_x = 4.50 \text{ cm}$$

$$e_y = \frac{M_{ux}}{P_u} \quad e_y = 1.80 \text{ cm}$$

**Calculo de las solicitaciones uniaxiales equivalentes.**

$$\frac{M_{uy}}{M_{ux}} \text{ vs } \frac{b}{h} \quad \frac{M_{uy}}{M_{ux}} = 2.50 > \frac{b}{h} = 1.14$$

$$\frac{M_{uy}}{M_{ux}} > \frac{b}{h} ; \text{ Condicion de validez de la primera ecuación lineal de PARME}$$

$$M_{uoy} = M_{uy} + M_{ux} * \left(\frac{b}{h}\right) * \left(\frac{1 - \beta}{\beta}\right) ; \text{ PARME sugiere utilizar } \beta = 0.65$$

$$M_{uoy} = 9.88 \text{ T-m}$$

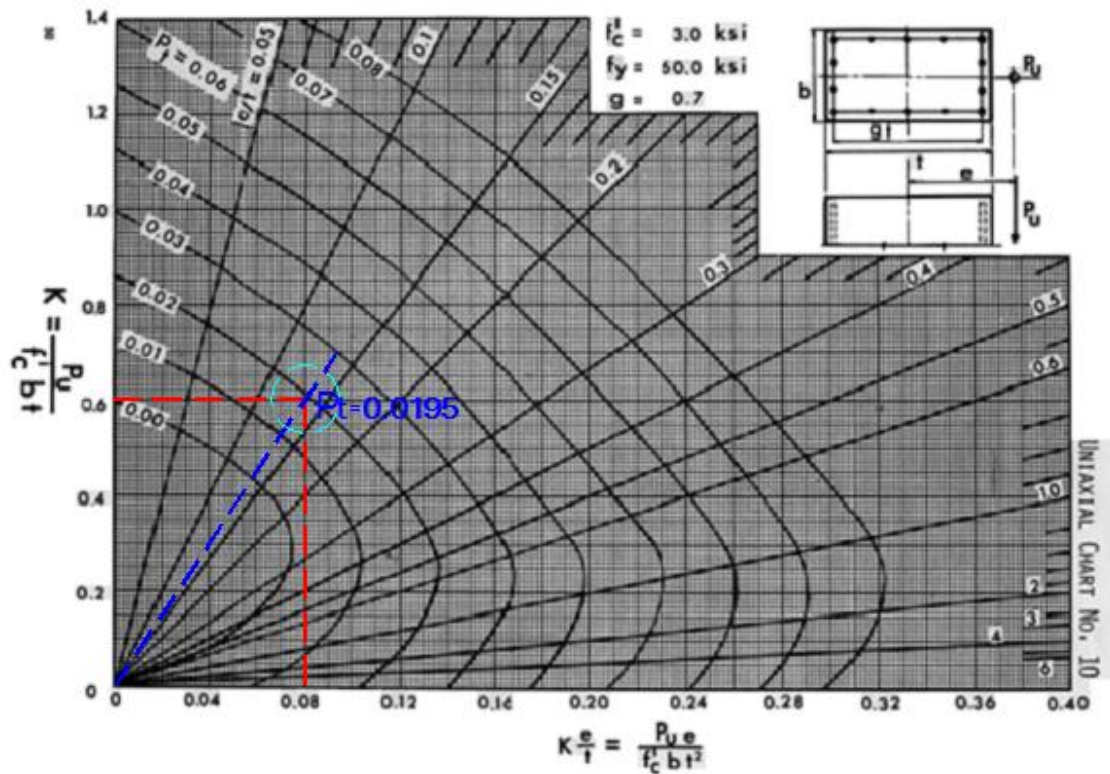
$$e_{ox} = \frac{M_{uoy}}{P_u} = 5.60 \text{ cm}$$

### Calculo del refuerzo.

$$g = \frac{d - d'}{t}; \quad t = b \rightarrow g = 0.70$$

Con el valor de “g” ya podemos decidir que ábaco o ábacos utilizar, en esta ocasión se utilizara el ábaco N° 10 del ACI-71, que por coincidencia tenemos un valor de “g” que corresponde a uno de los ábacos, generalmente es necesario hacer interpolación entre dos ábacos.

Ahora es necesario determinar las coordenadas para ingresar al ábaco seleccionado.



Abaco N° 10- ACI-71

Coordenada en “Y” = K.

Coordenada en “X” = K\*(e/t).

$$f'_c = 3 \text{ Ksi}$$

$$f_y = 60 \text{ Ksi}$$

$$g = 0.7$$

$$K = \frac{P_u}{f'_c * h * t}; \quad t = b \rightarrow K = 0.6$$

$$K * \frac{e}{t} = \frac{P_u * e}{f'_c * h * t^2}; \quad e = e_{ox} \rightarrow K * \frac{e}{t} = 0.08$$

$$\rho t = 0.0195 \rightarrow Ast = \rho t * b * h \rightarrow Ast = 27.3 \text{ cm}^2$$

Es importante recordar que en los ábacos preparados por el ACI- 71 para el diseño de columnas el factor  $\phi(f_i)$  tiene un valor igual a 0.70 y corresponde a la zona de flexocompresión; el programa desarrollado en lo que se refiere al tema en cuestión sigue los lineamientos establecidos por el ACI 318-11 en cual el factor  $\phi(f_i)$  para la zona de flexocompresión es 0.65.

Tomando en consideración lo antes mencionado como siguiente paso es corregir el porcentaje de refuerzo total de la siguiente forma:

$$\rho t_{\text{corregido}} = \rho t_{\text{obtenido}} * \frac{\phi_{ACI-71}}{\phi_{ACI\ 318-11}}$$

$$\rho t_{\text{corregido}} = 0.0195 * \frac{0.70}{0.65}$$

$$\rho t_{\text{corregido}} = 2.1\%$$

El porcentaje total de refuerzo que se obtiene se debe comparar con los porcentajes de refuerzo límites permitidos por la NEC y el ACI.

$$\rho t_{\min} \leq \rho t \leq \rho t_{\max} \rightarrow OK$$

El porcentaje de refuerzo corregido debe ser transformado a diámetros de acero comercial.

$$Ast = 10\emptyset 20mm \rightarrow Ast = 31.42 \text{ cm}^2$$

Porcentaje de refuerzo real utilizado en la columna.

$$\rho_{\text{REAL}} = 2.24 \%$$

#### 4.2.1 COMPROBACION DEL DISEÑO MANUAL.

Para realizar la comprobación del diseño se realizara en función de las ecuaciones de BRESLER.

$$\text{Si } Pn \geq 0.10 * f'c * Ag$$

$$1) \quad \frac{1}{Py} + \frac{1}{Px} - \frac{1}{Po} \approx \frac{1}{Pn} \quad \text{ECUACIÓN DE LA CARGA RECÍPROCA}$$



Si  $P_n < 0.10 * f'c * A_g$

$$2) \frac{M_{ny}}{M_{noy}} + \frac{M_{nx}}{M_{nox}} \approx 1 \quad \text{ECUACIÓN DE CONTORNO DE CARGA}$$

Con estas condiciones procedemos a realizar la comprobación del diseño.

#### Determinación de la Carga Nominal.

$$P_n = \frac{P_u}{\phi}; \quad \phi = 0.65 \quad (\text{ACI 318 - 11})$$

$$P_n = \frac{176.4}{0.65} \rightarrow P_n = 271.385 \text{ Ton}$$

$$P_n = \frac{176.4}{0.65} \rightarrow P_n = 271.385 \text{ Ton}$$

$$0.10 * f'c * A_g = 0.10 * 210 * 40 * 35 = 29.4 \text{ Ton}$$

$P_n > 0.10 * f'c * A_g \rightarrow$  Se utilizara la primera ecuación

Para determinar que la columna resiste las solicitaciones biaxiales debe cumplir que:

$$\frac{1}{\frac{1}{P_y} + \frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o}} \geq P_n; \text{ donde: } \frac{1}{\frac{1}{P_y} + \frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o}} = \text{Capacidad}; P_n = \text{Solicitud}$$

#### Determinación de la Carga Axial Pura: Po

$$P_o = 0.85 * f'c * A_g + A_{st} * f_y$$

$$P_o = 0.85 * 210 * 40 * 35 + 31.42 * 4200$$

$$P_o = 381.86 \text{ Ton}$$

#### Determinación de Py en el eje de flexión Y-Y

$$e_x = \frac{M_{uy}}{P_u} \quad e_x = 4.50 \text{ cm}$$

$$g = \frac{d - d'}{t}; \quad d = b - d'; \quad t = b \rightarrow g = 0.70$$

$$f'c = 3 \text{ Ksi}$$

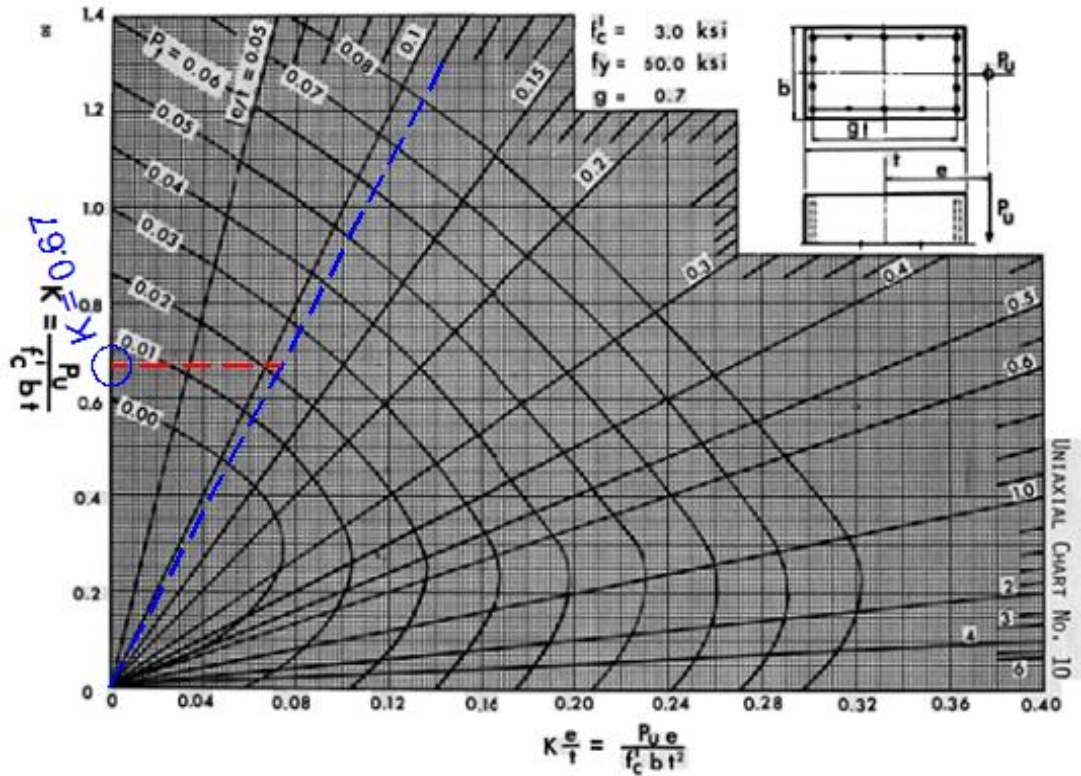
$$f_y = 60 \text{ Ksi}$$

$$g = 0.7$$

Valores para ingresar a los ábacos, específicamente al ábaco N° 10 del ACI-71

$$\rho_{REAL} = 2.24 \% \rightarrow \rho = 0.0224$$

$$\frac{e}{t} = \frac{ex}{b} = \frac{4.5}{40} = 0.113$$



Abaco N° 10- ACI-71

Con estos dos datos ingresamos al ábaco y obtenemos el valor de “K”.

$$K = 0.67$$

$$K = \frac{P_u}{f'_c * h * t} ; P_u = K * f'_c * h * t ; b = t$$

$$P_u = 0.67 * 210 * 35 * 40 \rightarrow P_u = 197.0 \text{ Ton}$$

$$P_y = \frac{P_u}{\phi} \rightarrow P_y = \frac{197.0}{0.65} = 303.05 \text{ Ton}$$

### Determinación de $P_x$ en el eje de flexión X-X

$$e_y = \frac{M_{ux}}{P_u} \quad e_y = 1.80 \text{ cm}$$

$$g = \frac{d - d'}{t}; \quad d = h - d'; \quad t = h \quad \rightarrow \quad g = 0.66$$

$$f'_c = 3 \text{ Ksi}$$

$$f_y = 60 \text{ Ksi}$$

$$g = 0.66$$

Valores para ingresar a los ábacos, del ACI-71

$$\rho_{REAL} = 2.24 \% \rightarrow \rho = 0.0224$$

$$\frac{e}{t} = \frac{e_y}{h} = \frac{1.8}{35} = 0.051$$

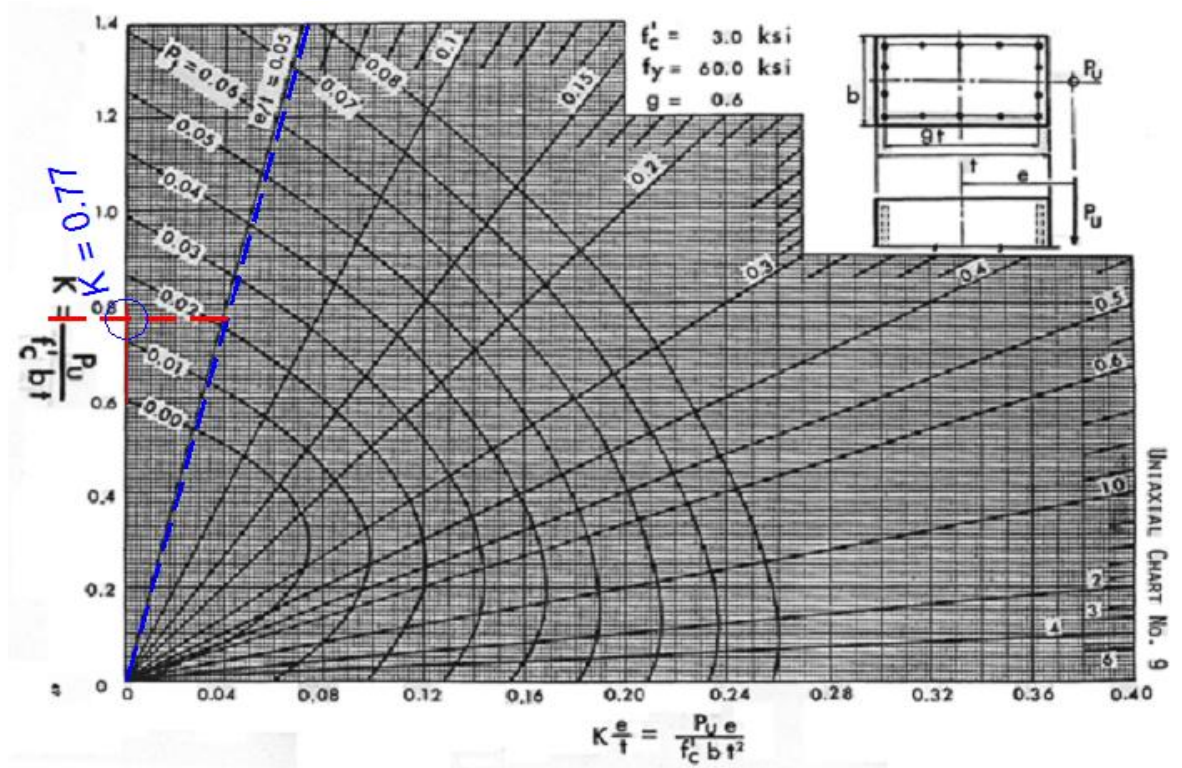
Para poder determinar el valor de “K” es necesario utilizar los ábacos N° 9 y N° 10 y hacer una interpolación lineal.

$$g = 0.6 \rightarrow K = 0.77$$

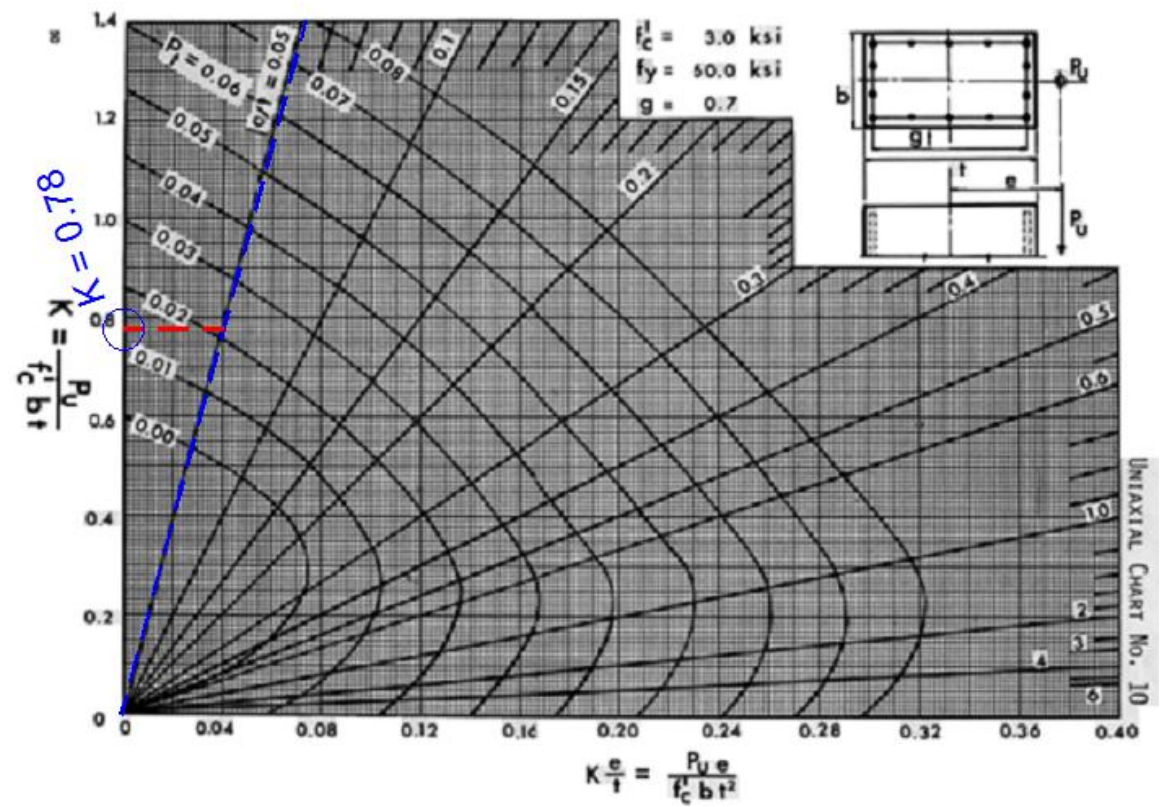
$$g = 0.66 \rightarrow K = ? \rightarrow k = 0.776$$

$$g = 0.7 \rightarrow K = 0.78$$

$$K = 0.776$$



Abaco N° 9 - ACI-71



Abaco N° 10- ACI-71

$$K = \frac{P_u}{f'_c * h * t} ; P_u = K * f'_c * h * t ; b = t$$

$$P_u = 0.776 * 210 * 35 * 40 \rightarrow P_u = 228.14 \text{ Ton}$$

$$P_x = \frac{P_u}{\phi} \rightarrow P_x = \frac{228.14}{0.65} = 351.0 \text{ Ton}$$

Este instante ya podemos aplicar la ecuación de la carga reciproca de BRESLER.

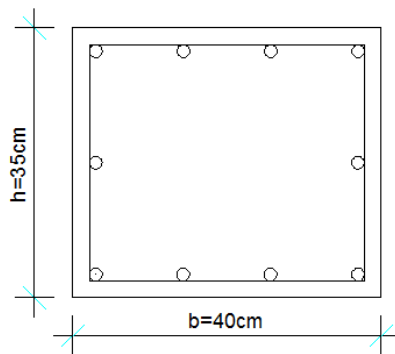
$$\frac{1}{\frac{1}{P_y} + \frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o}} = \frac{1}{\frac{1}{303.05} + \frac{1}{351.0} - \frac{1}{381.86}} = 283.30 \text{ Ton}$$

$$\frac{1}{\frac{1}{P_y} + \frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o}} \geq P_n \rightarrow 283.30 \text{ Ton} > 271.385 \text{ Ton}$$

Se acepta un error de  $\pm 10\%$ ; error = 4.41%

El error obtenido es menor que el establecido, razón por la cual se acepta el diseño, quedando el diseño de la columna de la siguiente forma:

B      40 cm  
H      35 cm  
Ast    10 Ø20mm



#### 4.3.- COMPARACION DE RESULTADOS

##### DISEÑO Y COMPROBACION CON EL PROGRAMA

DISEÑO:	
Altura Columna: h(cm)	35
Base Columna: b(cm)	40
Resistencia del Acero(Kg/cm <sup>2</sup> )	4200
Resistencia del Hormigón(Kg/cm <sup>2</sup> )	210
d' Asumido(cm)	6
Carga última:Pu(ton-m)	176.4
Momento último: Mux(ton-m)	3.17
Momento último: Muy(ton-m)	7.93
Módulo Elasticidad del acero: E(Kg/cm <sup>2</sup> )	2100000
Def.Máxima del hormigón: $\epsilon$ (mm/mm)	0.003
Nro. Filas de varillas paralelo a x-x	3
Nro. Varillas en cada fila	F1 = 4
	F2 = 2
	F3 = 4
SALIDA DE DATOS:	
Porcentaje de Refuerzo (%)	2.17
Acero de refuerzo total(cm <sup>2</sup> )	30.34

##### DISEÑO Y COMPROBACION MANUAL

DISEÑO:	
Altura Columna: h(cm)	35
Base Columna: b(cm)	40
Resistencia del Acero(Kg/cm <sup>2</sup> )	4200
Resistencia del Hormigón(Kg/cm <sup>2</sup> )	210
d' Asumido(cm)	6
Carga última:Pu(ton-m)	176.4
Momento último: Mux(ton-m)	3.17
Momento último: Muy(ton-m)	7.93
Módulo Elasticidad del acero: E(Kg/cm <sup>2</sup> )	2100000
Def.Máxima del hormigón: $\epsilon$ (mm/mm)	0.003
Nro. Filas de varillas paralelo a x-x	3
Nro. Varillas en cada fila	F1 = 4
	F2 = 2
	F3 = 4
RESULTADOS OBTENIDOS:	
Porcentaje de Refuerzo (%)	2.1
Acero de refuerzo total(cm <sup>2</sup> )	27.30

COMPROBACION	
Área/varilla	3.03
$\emptyset$ VARILLA(mm)	19.65
$\emptyset$ COMERCIAL(mm)	20.00
Ast(cm <sup>2</sup> )	31.42
Porcentaje de diseño (%)	2.24
Pn(ton)=Solicitud	271.38
0.10*f'c *Ag (ton)	29.40
Pn> 0.10 *f'c*Ag	
Px (ton)	331.32
Py (ton)	285.55
Po (Kg)	381.78
$\frac{1}{\frac{1}{P_y} + \frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o}} = \text{Capacidad}$	256.35
$\left[1 - \left(\frac{\text{Capacidad}}{\text{Solicitud}}\right)\right] \cong \pm 10\%$	5.5%

COMPROBACION	
Área/varilla	2.73
$\emptyset$ VARILLA(mm)	18.64
$\emptyset$ COMERCIAL(mm)	20.00
Ast(cm <sup>2</sup> )	31.42
Porcentaje de diseño (%)	2.24
Pn(ton)=Solicitud	271.4
0.10*f'c *Ag (ton)	29.4
Pn> 0.10 *f'c*Ag	
Px (ton)	351.00
Py (ton)	303.05
Po (ton)	381.86
$\frac{1}{\frac{1}{P_y} + \frac{1}{P_x} - \frac{1}{P_o}} = \text{Capacidad}$	283.30
$\left[1 - \left(\frac{\text{Capacidad}}{\text{Solicitud}}\right)\right] \cong \pm 10\%$	4.41%

Los resultados de los dos diseños presentan errores menores al 10%, y además difieren como se dijo anteriormente en el diseño manual porque en el proceso de cálculo se hacen redondeos de cantidades y esto conlleva a un error acumulativo.



## **CAPITULO V**

### **5.1.- MANUAL PARA EL USO DEL PROGRAMA.**

Este capítulo tiene la finalidad de explicar paso a paso cómo funciona el programa, para que cualquier usuario que tenga acceso al mismo pueda utilizarlo con facilidad.

#### **5.1.1.- PANTALLA PRINCIPAL.**

Al ingresar al programa lo primero que se mostrara es la pantalla principal, en la que se encuentra varias opciones como: Diseño, Comprobación, Diagrama de Interacción, Salir.

Cada una de estas opciones ejecuta una acción específica de acuerdo a los requerimientos del usuario.



#### **5.1.2.- DISEÑO.**

En el instante que se haga clic sobre el botón “DISEÑO”, inmediatamente se desplazara la siguiente ventana en la que se ingresara variables y constantes que se necesitan para el diseño y la comprobación del mismo.

Ingresa de Datos

**Limpiar Datos**




**INGRESO DE DATOS**

Altura Columna: h(cm)

Base Columna: b(cm)

Resistencia del Acero (kg/cm<sup>2</sup>)

Resistencia del Hormigón (kg/cm<sup>2</sup>)

d' Asumido (cm)

Carga Ultima: Pu (Ton)

Momento Ultimo: Mux (Ton-m)

Momento Ultimo: Muy (Ton-m)

Módulo Elasticidad del Acero (kg/cm<sup>2</sup>)

Def. Máxima del Hormigón (mm/mm)

Nro. Filas de Varillas Paralelo a X-X

**Enviar Datos** **Menu Principal**

Antes de proceder con el ingreso de datos se debe limpiar los datos de diseños antes realizados. Luego se ingresa todos los datos que se muestran en la pantalla, también se indican las unidades en las que se debe ingresar cada dato, se debe tener especial cuidado cuando se ingrese cantidades con decimales pues el programa está estructurado para que el separador de decimales sea la coma (,) y no el punto (.), en la siguiente pantalla se puede apreciar lo antes mencionado.

Ingresa de Datos

**Limpiar Datos**




**INGRESO DE DATOS**

Altura Columna: h(cm)

Base Columna: b(cm)

Resistencia del Acero (kg/cm<sup>2</sup>)

Resistencia del Hormigón (kg/cm<sup>2</sup>)

d' Asumido (cm)

Carga Ultima: Pu (Ton)

Momento Ultimo: Mux (Ton-m)

Momento Ultimo: Muy (Ton-m)

Módulo Elasticidad del Acero (kg/cm<sup>2</sup>)

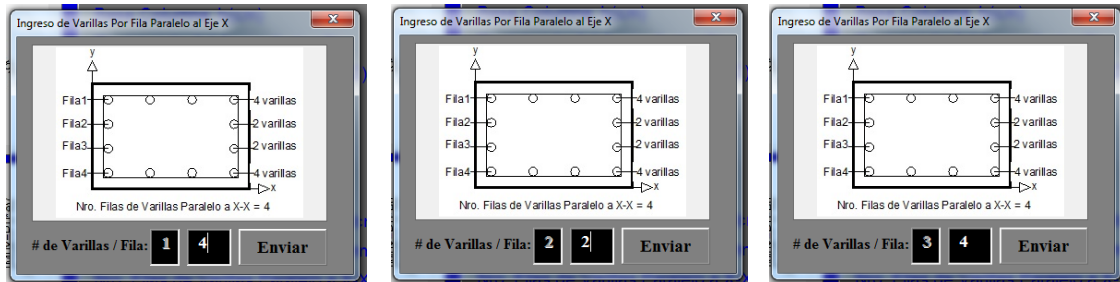
Def. Máxima del Hormigón (mm/mm)

Nro. Filas de Varillas Paralelo a X-X

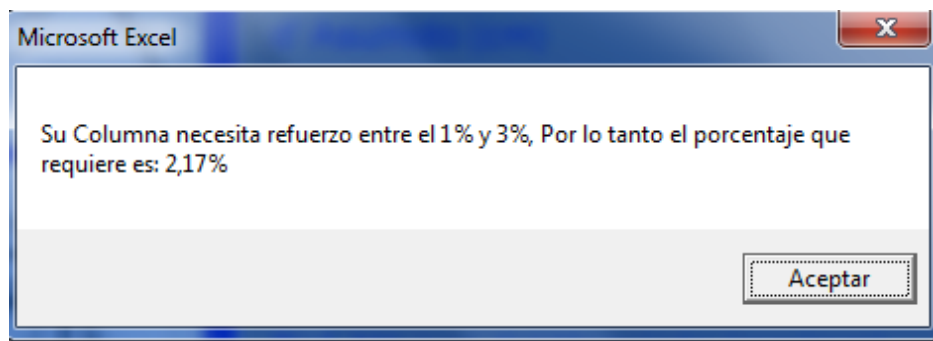
**Enviar Datos** **Menu Principal**



Una vez ingresado el número de filas de varillas paralelo al eje “X-X” al hacer clic sobre el botón “Enviar Datos” se desplazara la siguiente pantalla en la que se ingresa el número de varillas por cada fila ingresado anteriormente. Esta pantalla aparecerá tantas veces sea el número de filas de varillas ingresado, en este caso son tres:



Una vez ingresado el número total de varillas inmediatamente al hacer clic en el botón enviar el programa procede a realizar el diseño, y como resultado de este proceso se obtiene un mensaje en el que aparece el porcentaje de acero de refuerzo que requiere la columna, este procedimiento se realiza cumpliendo con los porcentajes de refuerzo limites que permite utilizar la NEC y el ACI con el propósito de obtener un diseño sismo resistente, este porcentaje de acero de refuerzo debe estar entre el 1% y 3%.



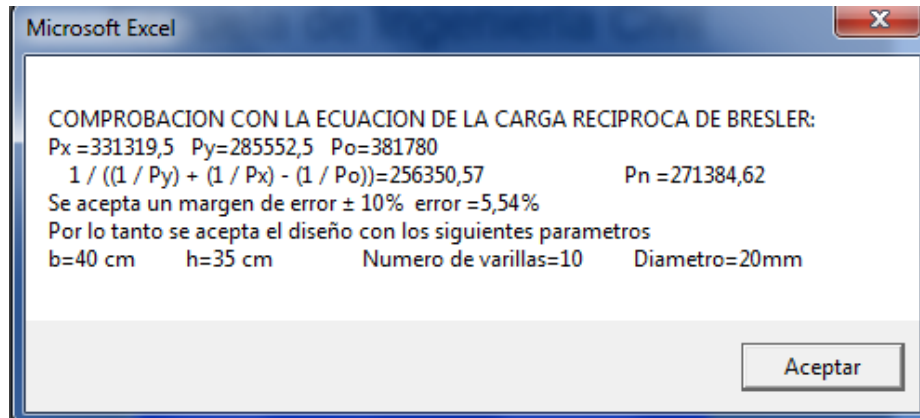
Al hacer clic en aceptar el programa regresa a la pantalla principal en la que el usuario puede elegir que opción quiere ejecutar, pero como recomendación el siguiente paso debe ser la comprobación del diseño.

### 5.1.3.- COMPROBACION DEL DISEÑO.

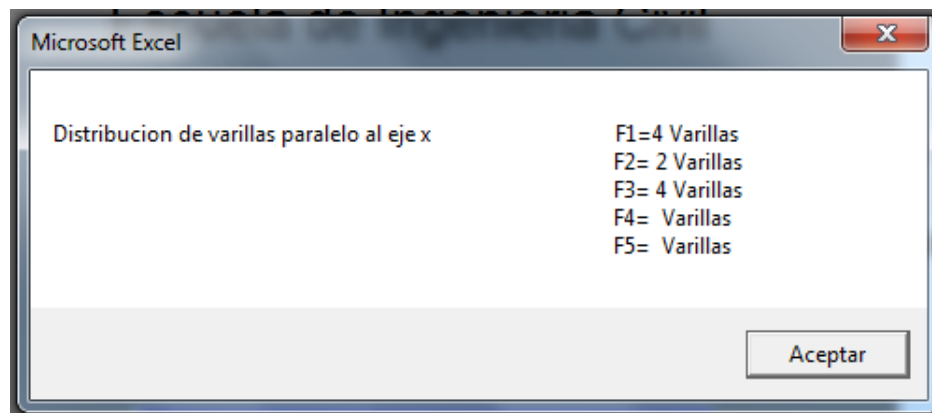
En este paso el programa procede a realizar la comprobación del diseño, para el efecto el programa fue estructurado en función de las ecuaciones de BRESLER.

Si el diseño es correcto aparecerá un mensaje en el cual se acepta el diseño y se mostrara como queda el diseño definitivo de la columna.

Si el diseño no es satisfactorio de acuerdo con las ecuaciones de BRESLER aparecerá otra pantalla en la que se indica que la sección esta Subdimensionada o Sobredimensionada, de la misma forma aparecerá una recomendación para cada caso.

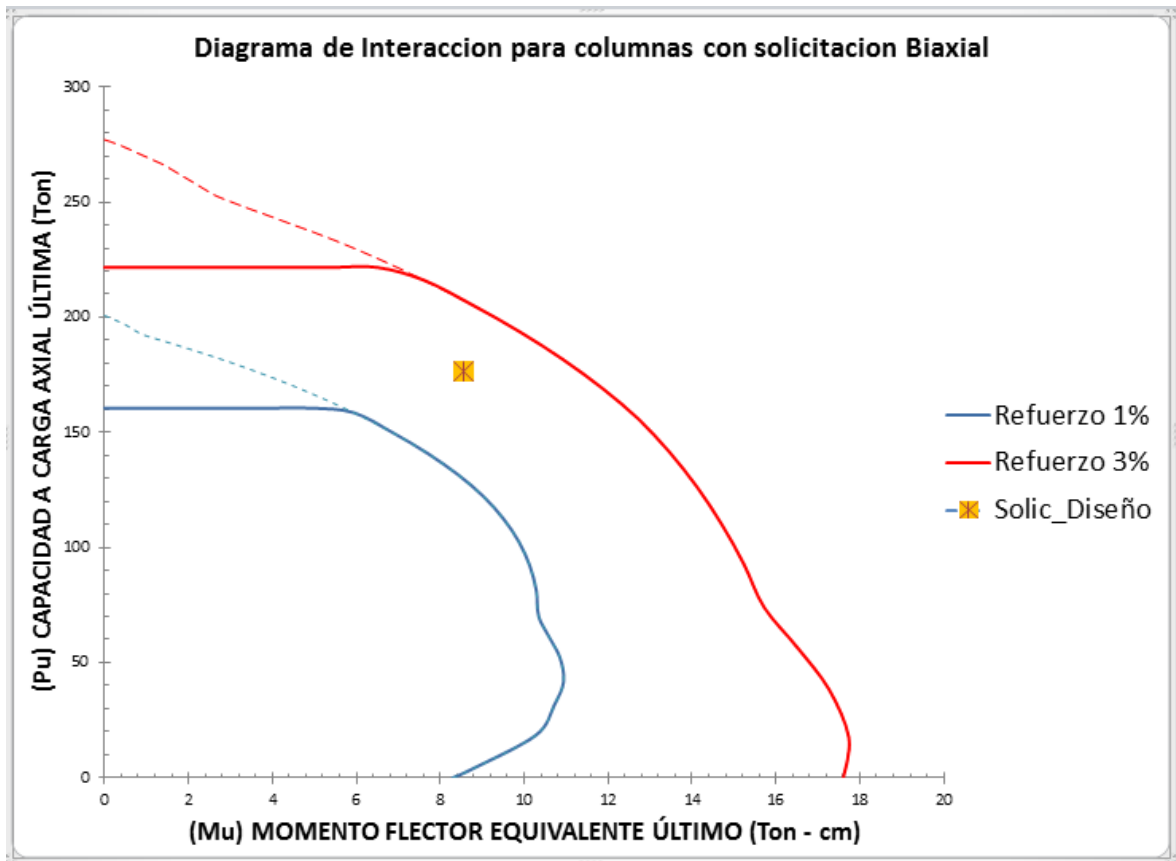


Lo siguiente que se mostrara es la distribución del acero de refuerzo en cada fila paralela al eje X-X



Si el usuario lo prefiere en este momento puede salir del programa puesto que el diseño se ha completado. Pero adicionalmente se tiene la opción de visualizar el diseño en los llamados diagramas de interacción.

#### 5.1.4.- DIAGRAMA DE INTERACCION.



**Nota:** Los diagramas de interacción se configuran en función de las cargas axiales últimas y los momentos equivalentes últimos.

Como se puede observar las solicitaciones de diseño están dentro de las curvas de falla y esto tiene concordancia con el mensaje en el cual se acepta el diseño.

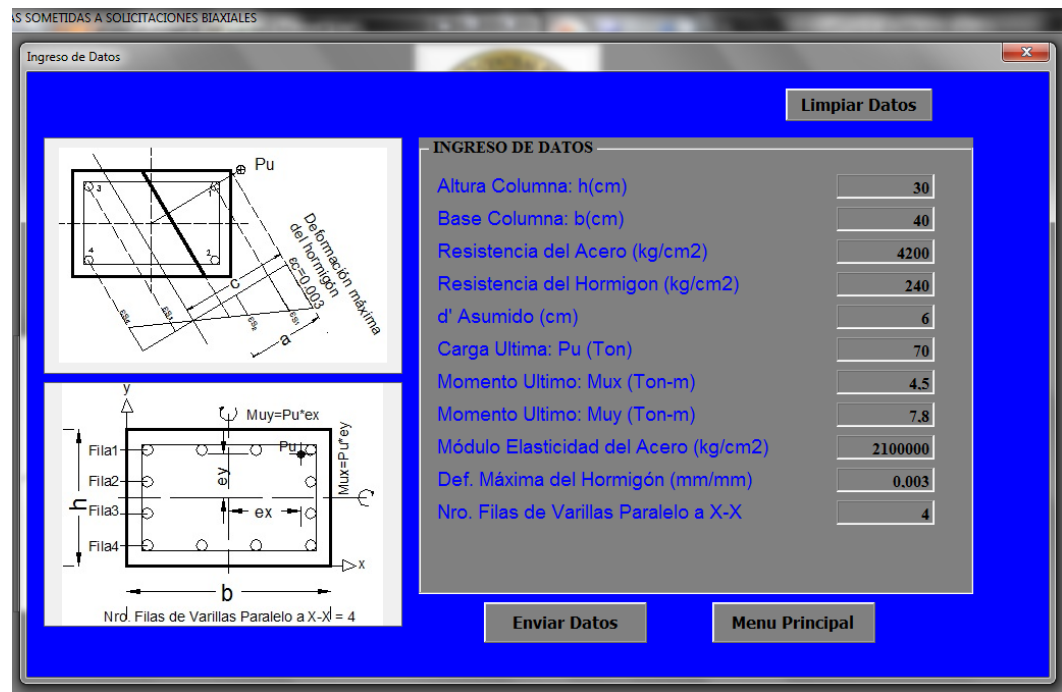
Como parte complementaria de este manual se incrementa las dos opciones de diseño que generalmente se puede presentar en el campo profesional, está claro que los pasos a seguir serán los mismos que en el primer diseño.

### 5.1.5.- DISEÑO SOBREDIMENSIONADO.

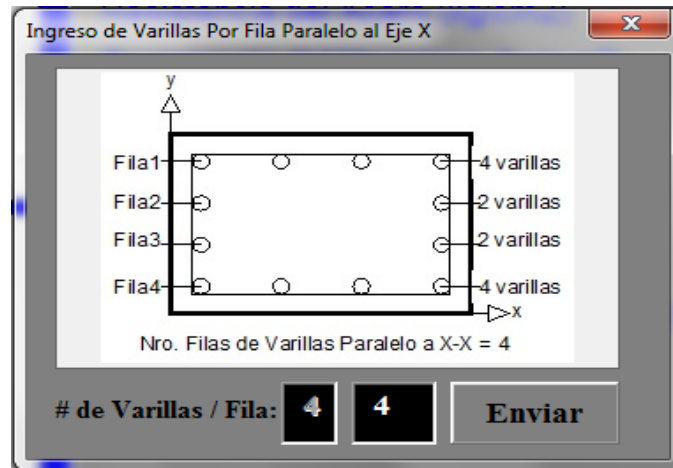
#### 5.1.5.1. PANTALLA PRINCIPAL.



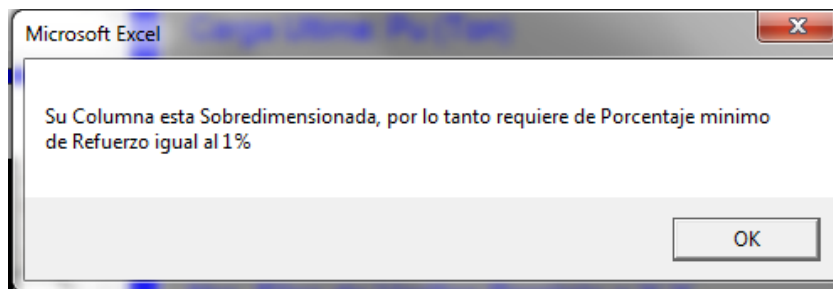
#### 5.1.5.2. DISEÑO. INGRESO DE DATOS.



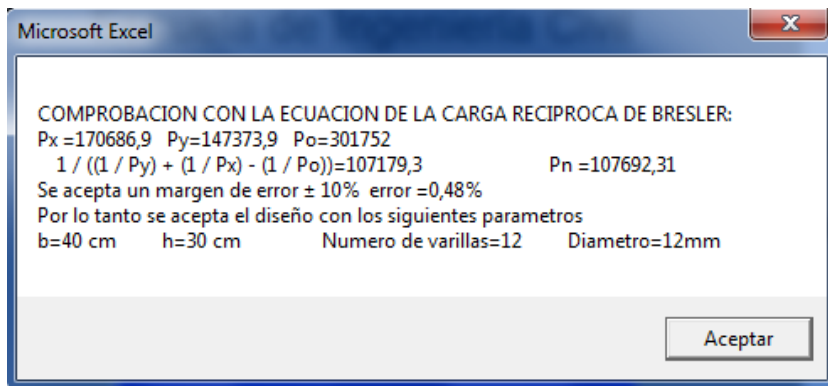
Una vez ingresado el número de filas de varillas paralelo al eje “X-X” al hacer clic sobre el botón “Enviar Datos” se desplazara la siguiente pantalla en la que se ingresa el número de varillas por cada fila ingresado anteriormente. Esta pantalla aparecerá tantas veces sea el número de filas de varillas ingresado, en este caso solo se mostrara la ultima ventana que corresponde a la última fila de varillas.

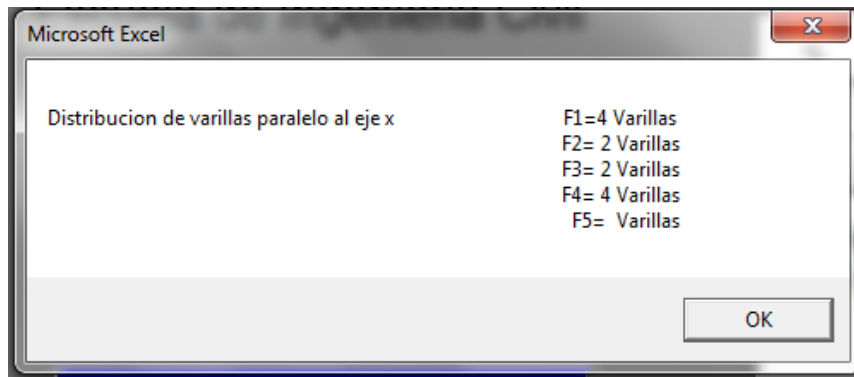


Como resultado del diseño se obtiene el porcentaje de refuerzo.

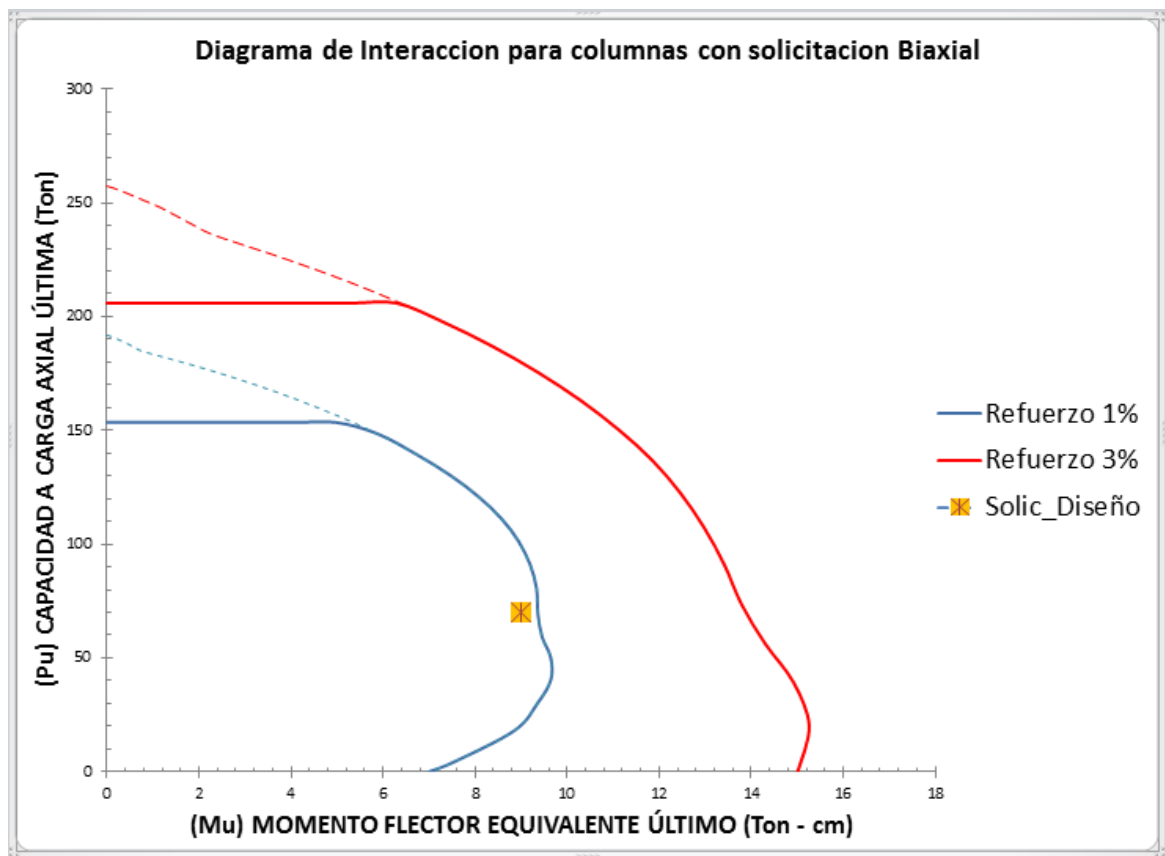


#### 5.1.5.3. COMPROBACION DEL DISEÑO.





#### 5.1.5.4. DIAGRAMA DE INTERACCION.



**Nota:** Los diagramas de interacción se configuran en función de las cargas axiales últimas y los momentos equivalentes últimos.

Como se puede apreciar en el diagrama de interacción las solicitaciones de diseño equivalentes son menores a las solicitaciones que resiste la columna con el porcentaje mínimo de refuerzo longitudinal, tomando en cuenta estas consideraciones se determina que la columna está sobredimensionada.

### 5.1.6.- DISEÑO SUBDIMENSIONADO.

#### 5.1.6.1 PANTALLA PRINCIPAL.



#### 5.1.6.2. DISEÑO.

#### INGRESO DE DATOS.

Ingreso de Datos

**Limpiar Datos**

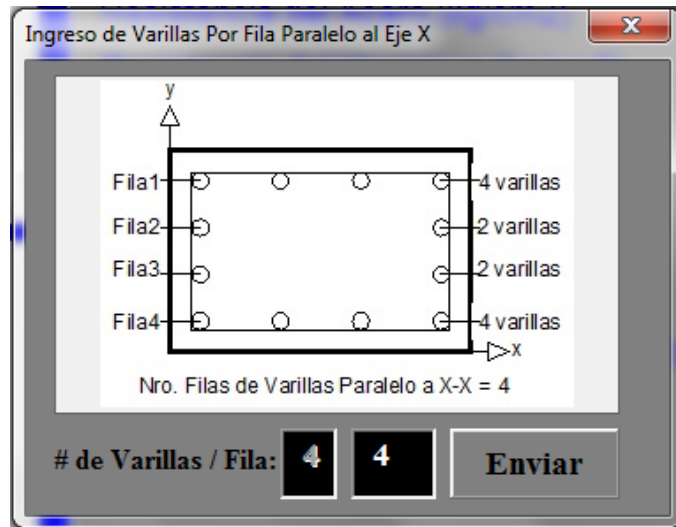
**INGRESO DE DATOS**

Altura Columna: h(cm)	35
Base Columna: b(cm)	35
Resistencia del Acero (kg/cm <sup>2</sup> )	4200
Resistencia del Hormigón (kg/cm <sup>2</sup> )	280
d' Asumido (cm)	6
Carga Ultima: Pu (Ton)	210
Momento Ultimo: Mux (Ton-m)	4
Momento Ultimo: Muy (Ton-m)	8
Módulo Elasticidad del Acero (kg/cm <sup>2</sup> )	2100000
Def. Máxima del Hormigón (mm/mm)	0.003
Nro. Filas de Varillas Paralelo a X-X	4

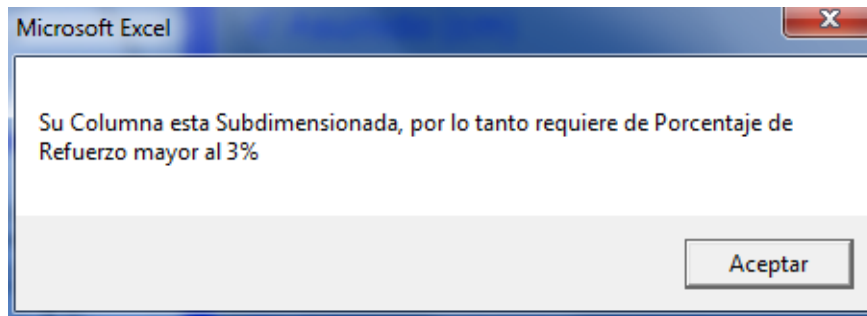
**Enviar Datos** **Menu Principal**

Nro. Filas de Varillas Paralelo a X-X = 4

Una vez ingresado el número de filas de varillas paralelo al eje “X-X” al hacer clic sobre el botón “Enviar Datos” se desplazara la siguiente pantalla en la que se pide el número de varillas por cada fila ingresado anteriormente. Esta pantalla aparecerá tantas veces sea el número de filas de varillas ingresado, en este caso solo se mostrara la última ventana que corresponde a la última fila de varillas.



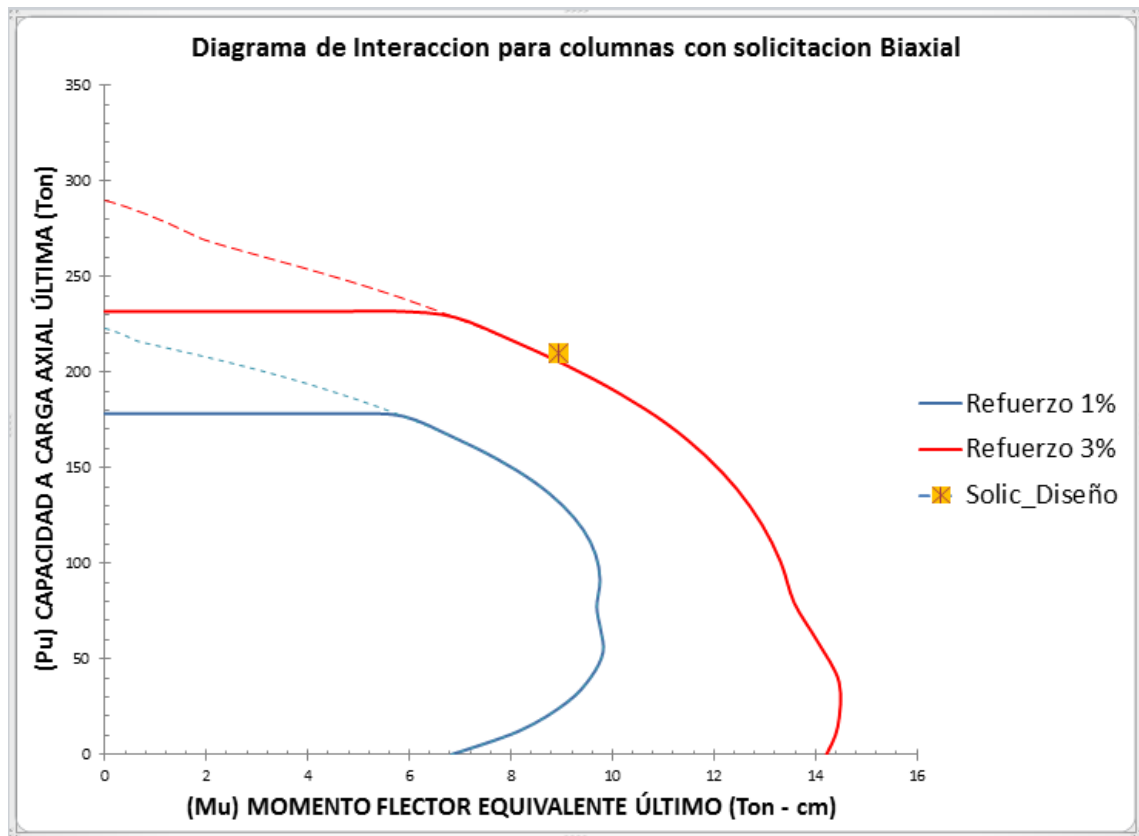
Como resultado del diseño se obtiene el porcentaje de refuerzo.



Para este caso el diseño estaría terminado puesto que la columna con las dimensiones establecidas en el prediseño no resiste las solicitaciones de diseño, como recomendación seria cambiar (incrementar) la sección de la columna y nuevamente realizar el diseño y comprobación del mismo hasta que el porcentaje de refuerzo este dentro de los límites permitidos.



#### 5.1.6.3. DIAGRAMA DE INTERACCION.



**Nota:** Los diagramas de interacción se configuran en función de las cargas axiales últimas y los momentos equivalentes últimos.

Como se puede apreciar en el diagrama de interacción las sollicitaciones de diseño equivalentes son mayores que la capacidad de la columna para el máximo porcentaje de refuerzo permitido, razón por la que se emite el mensaje que la columna esta subdimensionada.

En el capítulo cuatro se establece que se puede hacer en estos casos para poder continuar con el diseño y comprobación de la sección.

## 5.2.- NOMENCLATURA

A continuación se detalla un listado de toda la nomenclatura utilizada en el desarrollo del programa:

**v\_h** = alto de la columna

**v\_b** = base de la columna

**v\_fy** = resistencia a la fluencia del acero

**v<sub>fc</sub>** = resistencia a la compresión del hormigón  
**v<sub>dme</sub>** = distancia desde la cara de la columna hasta el centroide del refuerzo  
**v<sub>pu</sub>** = carga ultima factorizada  
**v<sub>mux</sub>** = momento último que gira alrededor del eje x-x  
**v<sub>muy</sub>** = momento último que gira alrededor del eje y-y  
**v<sub>mes</sub>** = módulo de elasticidad del acero de refuerzo  
**v<sub>ec</sub>** = deformación utilizable del hormigón a compresión  
**v<sub>numfil</sub>** = número de filas de varillas paralelas al eje x-x.  
**# V/Fila** = número de varillas por fila.  
**Σ V** = número total de varillas ingresado  
**Mat( )** = Matriz de porcentaje de refuerzo mínimo y máximo.  
**r<sub>beta</sub>** = factor que define la profundidad del bloque de hormigón en compresión.  
**C<sub>sup</sub>** = primer valor asumido del eje neutro para definir un punto del diagrama.  
**C<sub>inf</sub>** = ultimo valor del eje neutro con el que se define el último punto del diagrama.  
**Incr** = incremento de “c” para obtener todos los puntos del diagrama.  
**S<sub>x</sub>**: distancia entre varillas en el eje x-x  
**S<sub>y</sub>**: distancia entre varillas en el eje y-y  
**x(i), y(i)**: coordenadas de cada varilla desde el vértice inferior izquierdo.  
**Posx(i), Posy(i)**: coordenadas de cada varilla desde el vértice superior derecho de la sección.  
**Dis(i)**: Son las distancias desde la fibra más comprimida al centroide de cada varilla.  
**X(i)**: Son las distancias desde el eje neutro de la sección al centroide de cada varilla.  
**Z(i)**: Son los brazos de palanca desde el centro de gravedad de la sección al centroide de cada varilla.  
**θ** : ángulo formado por las excentricidades  
**γ(i), λ(i)**: variables auxiliares.  
**ε<sub>y</sub>** : máxima deformación del acero.  
**cte**: constante que relaciona la deformación máxima del hormigón con el eje neutro.  
**Σ V**: número total de varillas en la columna.  
**εs(i)**: deformación del acero traccionado.  
**f<sub>s</sub>(i)**: fuerza de tensión en el acero.  
**RS(i)**: fuerza resultante .  
**MRS(i)**: momento resistente generado en el acero  
**εs(1)**: deformación del acero más traccionado.  
**Φ**: factor de reducción de resistencia.  
**AEHC**: área equivalente de hormigón comprimido.  
**Xc, Yc**: coordenadas desde el centro de gravedad de la sección al centroide del AEHC.  
**Hipot**: resultante de las coordenadas del AEHC.  
**θ** : ángulo formado entre las excentricidades ex e ey.  
**θ<sub>1</sub>**: ángulo formado entre las coordenadas del AEHC.

**$\theta_2$** : ángulo necesario para calcular  $Z_c$   
**Zc**: brazo de palanca del AEHC con respecto al centro de gravedad de la sección.  
**Cc**: fuerza de compresión generada en la sección transversal de hormigón.  
**Mcc**: momento resistente del hormigón.  
**X, Y**: variables auxiliares que definen el AEHC incluyendo las áreas ficticias.  
**Xcp, Ycp**: coordenadas globales del C.G de la sección transversal.  
**X', X'', Y', Y''**: variables auxiliares que definen las áreas ficticias de la sección de hormigón.  
**X<sub>I</sub>, Y<sub>I</sub>**: coordenadas locales del centroide del AEHC.  
**Po**: Carga axial nominal a compresión pura.  
**Mo**: Momento flexionante puro cuando Po=0.  
**Pb**: Carga axial Balanceada.  
**Mb**: Momento flexionante balanceado.  
**Pnmax**: Carga axial máxima para diseño.  
**Cb**: Posición del eje neutro balanceado.  
**Csup, Cinf**: Valores límites para aplicar el método de la bisección.  
**ex**: excentricidad que relaciona (Pu/Muy)  
**ey**: excentricidad que relaciona (Pu/Mux)  
**e**: excentricidad obtenida de la relación(  $r_{mn} / r_{pm}$ )  
**Px**: Carga axial para el eje de flexión (x-x)  
**Py**: Carga axial para el eje de flexión (y-y)  
**r<sub>ag</sub>** : área total de hormigón de la sección  
**r<sub>pd</sub>** : porcentaje de refuerzo de diseño  
**Px , Py**: carga axial respecto de los dos ejes  
**Mux**: Momento último en el eje x-x  
**Muy**: Momento último en el eje y-y  
**Mnox**: Momento nominal en el eje x-x  
**Muoy**: Momento nominal en el eje y-y  
**Cap**: capacidad de la sección  
**Solc**: solicitaciones

### **5.3.- RESTRICCIONES**

- a) El programa desarrollado para el diseño y comprobación de columnas se lo puede utilizar únicamente para columnas rectangulares y cuadradas reforzadas con estribos.
- b) Los diagramas de integración se desarrollan estrictamente en el plano pero que para el diseño los resultados que se obtienen son los mismos que los resultados que se obtendrían de un diagrama de integración espacial por el hecho que se utilizan cargas y momentos equivalentes.
- c) El diseño de columnas de secciones diferentes a las señaladas anteriormente no se consideró porque no están dentro del tema en estudio.

## **CAPITULO VI**

### **6.1.- CONCLUSIONES.**

- a) Por medio del programa desarrollado se puede obtener un diagnóstico rápido del diseño de determinada columna y de esta forma validar el diseño de la misma.
- b) El programa desarrollado para el diseño de columnas cuadradas o rectangulares con estribos que es el tema en estudio, no permite obtener porcentaje de refuerzo mayor al que se establece en el ACI-2011 y la NEC-11, dicha restricción tiene por objetivo obtener diseños dúctiles y evitar congestionamiento en la ubicación del acero de refuerzo.
- c) De la misma forma en cuanto al porcentaje de refuerzo mínimo tiene como objetivo evitar que el acero fluya para cargas inferiores a la fluencia teórica, pudiendo darse este fenómeno por el flujo plástico del hormigón, el cual genera una transferencia de esfuerzos entre el hormigón y el acero.
- d) En el capítulo IV se presenta varios ejemplos de diseño de columnas mediante el programa y mediante el uso de ábacos preparados por el ACI-71, comparando los resultados obtenidos existen ciertas diferencias entre los mismos, se justifica por el hecho que el programa se basa en ecuaciones matemáticas aproximadas, otro de los parámetros es la apreciación de valores en los ábacos que serán diferentes para cada usuario.

### **6.2.- RECOMENDACIONES.**

- a) Como recomendación general para este programa y para cualquier otro paquete de cálculo y diseño estructural es que los datos que se ingresen estén en unidades consistentes.
- b) Interpretar correctamente los resultados cuando sea necesario realizar un rediseño, esto es cuando la columna esta Sobre o Subdimensionada según lo requiera el caso.
- c) Una recomendación puntual para este programa es utilizar como separador de decimales la coma (,) pues de lo contrario en el programa se presentaran inconvenientes.

## **GLOSARIO.**

### **Hormigón Armado:**

Se define como la utilización combinada del hormigón simple con barras de acero llamadas armadura, también se puede reforzar con fibras tales como: fibra de acero, fibra de vidrio, fibras plásticas.

### **Resistencia a la fluencia del acero:**

La resistencia a la fluencia del acero estructural puede determinarse durante la prueba de tensión, y se debe usarse el punto de fluencia inferior para determinar la resistencia a la fluencia del material.

### **Resistencia a la compresión del hormigón:**

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia de una muestra de concreto o de mortero a carga axial, esta resistencia se obtiene a los 28 días, generalmente se le designa con el símbolo  $f'_c$ .

### **Carga Nominal:**

Es la carga que puede resistir una sección transversal calculada con las disposiciones e hipótesis del método de diseño por resistencia.

### **Carga última de diseño:**

Es la carga nominal multiplicada por un factor de reducción de resistencia.

### **Momento Flexionante:**

Momento flexionante es lo que se genera al aplicar un par de fuerzas sobre algún elemento, ya sea viga o losa, y produce una flexión en el mismo elemento, pudiendo ser esta flexión negativa o positiva.

### **Módulo de elasticidad del acero:**

El módulo de elasticidad es el cociente de la tensión a la que está sometida la barra dividido por la deformación unitaria,  $(f_y/E_y)$ .

### **Deformación unitaria:**

La deformación unitaria, se puede definir como la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, la cual permitirá determinar la deformación del elemento sometido a esfuerzos de tensión o compresión axial,  $\epsilon = (\delta/L)$ ,  $\delta = (PL/AE)$ .

## **BIBLIOGRAFIA.**

1. REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-11),(Versión en español y en sistema métrico), Farmington Hills, MI 48331, U.S.A. 548 páginas.
2. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION (Decreto Ejecutivo N° 705 del 06 de abril de 2011), Capitulo 1 CARGAS Y MATERIALES (37 páginas), Capitulo 2 PELIGRO SISMICO Y REQUISITOS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE (79 páginas), Capitulo 4 ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO (45 páginas).
3. BLANCO BLASCO, Antonio, Estructuración y diseño de Edificaciones, Editorial Princeliness, 302 páginas.
4. LEONHART, Fritz; MONING, Edward, Estructuras de Hormigón Armado, Editorial El Ataneo, Tomo III, Tercera Edición, Argentina, 1995, 256 páginas.
5. NILSON, Arthur, Diseño de Estructuras de Concreto, Editorial Mc Graw-Hill, Duodécima Edición, 1999, 525 páginas.
6. PARKER, Harry, Diseño Simplificado de Concreto Reforzado, Editorial Limusa Wiley, Segunda Edición 1990, 349 páginas.
7. MONTOYA; MESENGUER; MORAN; Hormigón Armado, Barcelona España, Editorial Gustavo Gill, 14ª Edición, 628 páginas.